



TUGAS AKHIR – TM 141585

**PERANCANGAN MEKANISME PEMISAHAN FLY ASH
DARI SISA PEMBAKARAN PLTU DENGAN
MENGUNAKAN
DUST COLECTOR TYPE GRAVITY SETTLING
CHAMBER BERBASIS PEMROGRAMAN**

DENIK SATYA ANGGRAINI
NRP 2106 100 116

Dosen Pembimbing
Dr.WAWAN ARIES WIDODO,ST,MT.

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT – TM 141585

**DESIGN OF FLY ASH SEPARATION MECHANISM
FROM PLTU RESIDUAL COMBUSTION USING
GRAVITY SETTLING CHAMBER TYPE OF DUST
COLLECTOR BASED ON BORLAND DELPHI 7
PROGRAMMING**

DENIK SATYA ANGGRAINI
NRP 2106 100 116

Academic Supervisor
Dr. WAWAN ARIES WIDODO, ST, MT.

Mechanical Engineering Department
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institut of Technology
Surabaya 2015

**PERANCANGAN MEKANISME PEMISAHAN FLY ASH
DARI SISA PEMBAKARAN PLTU DENGAN
MENGGUNAKAN DUST COLECTOR TYPE GRAVITY
SETTLING CHAMBER BERBASIS PEMROGRAMAN
BORLAND DELPHI 7**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DENIK SATYA ANGGRAINI

Nrp. 2106 100 116

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT(Pembimbing)
(NIP.197104051997021001)
2. Prof. Ir. Sutardi, M.Eng, Ph.D(Penguji I)
(NIP.196412281990031002)
3. Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT(Penguji II)
(NIP.196202161995121001)
4. Nur Ikhwan, ST, M.Eng(Penguji III)
(NIP.196709151995121001)

**SURABAYA
JANUARI, 2015**

**PERANCANGAN MEKANISME PEMISAHAN FLY ASH
DARI SISA PEMBAKARAN PLTU DENGAN
MENGUNAKAN DUST COLECTOR TYPE GRAVITY
SETTLING CHAMBER BERBASIS PEMROGRAMAN
BORLAND DELPHI 7**

Nama : Denik Satya Anggraini
NRP : 2106.100.116
Bidang Studi : Konversi Energi
Pembimbing : Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT

ABSTRAK

Indonesia merupakan Negara yang memiliki potensi energy dari batu bara yang cukup besar. Sehingga sebagian besar sistem pembangkit yang ada di indonesia banyak yang menggunakan bahan bakar batu bara. Akan tetapi sumber tenaga fosil yang satu ini menimbulkan beberapa dampak merugikan karena menghasilkan gas buang yang tercampur dengan particulat atau debu yang bisa mencemari lingkungan. Untuk mengontrol polusi pada udara ada beberapa jenis alat yang bisa digunakan seperti Gravity settling chamber (GSC), cyclone , electrostatic precipitator (ESP), fabric filter, wet scrubber. Dari beberapa alat yang disebutkan di atas electrostatic precipitator(ESP) adalah alat yang paling tinggi efisiensi collecting dust nya namun semakin tinggi efisiensi collecting nya semakin mahal biaya pengoperasiannya, oleh karena itu diperlukan Gravity settling chamber (GSC) sebagai precleaner untuk meminimalisasi biaya yang dikeluarkan dengan menghitung pressure drop tiap unit length.

Proses perancangan ini dilakukan dengan metode komputasi (programming) menggunakan suatu perangkat lunak dengan bahasa pemrograman berbasis Windows Delphi 7. Pemasalahan dideskripsikan pada form interface kemudian dilakukan penyusunan kode. Perancangan tersebut menggunakan

persamaan-persamaan dari analisa yang dilakukan L.Theodore. Agar perhitungan yang dilakukan menjadi lebih sederhana. Karena dalam perancangan ini dilakukan dengan memvariasikan parameter. Seperti variasi aliran dilute atau dense phase. Sehingga diperoleh beberapa pilihan perancangan yang terbaik untuk gravity settling chamber. Pilihan ini didasarkan pada pressure drop per length sebagai parameter untuk mengetahui performa dari gravity settling chamber .

Dari perancangan ini diperoleh hasil yang paling optimal pada dust collecting system dengan nilai pressure drop per length setiap lalunya itu 4,51 Pa/m pada pipa horizontal, nozzle dan difusernya. Dan didapatkan dimensi utama yang paling efisien untuk lintasan horizontal $B = 2,227$ m, $H = 2,227$ m dan untuk lintasan vertical $L = 18,2$ m dilihat dari efisiensi penangkapan paling optimal yaitu 100 percent untuk dimensi partikel sebesar 100 mikron. Serta nilai kecepatan transport partikel sebesar 29,5 m/s.

Kata kunci: fly ash, dust collector, Gravity settling chamber, programming

**DESIGN OF FLY ASH SEPARATION MECHANISM
FROM PLTU RESIDUAL COMBUSTION USING
GRAVITY SETTLING CHAMBER TYPE OF DUST
COLLECTOR BASED ON BORLAND DELPHI 7
PROGRAMMING**

Nama : Denik Satya Anggraini
NRP : 2106.100.116
Bidang Studi : Konversi Energi
Pembimbing : Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT

ABSTRACT

Indonesia is a country that has the potential of energy from coal is quite large. Most of the existing Energy Generation Plant systems in Indonesia using coals as main energy resources. However, this fossil energy resources have some adverse effects due to exhaust gas mixed with particulate or dust that may pollute the environment. There are some equipment or system which is can be used to control this pollutant such as Gravity settling chamber (GSC), cyclones, electrostatic precipitator (ESP), fabric filters, and wet scrubbers. Electrostatic Precipitator (ESP) has the highest dust collecting efficiency but it's also need high operating cost, therefore it need Gravity settling chamber (GSC) as Precleaner to reduce cost but not the efficiency by counting pressure drop per unit length.

The design process is done by computational methods (programming) using software based on Windows programming language Delphi 7. Things are described in the form interface then conducted preparation of the code. The design uses the equations of the analysis carried by L.Theodore in order to simplify the calculation. The design is done by varying the parameters such as variations of dilute or dense phase flow in purpose to obtain the best design for Gravity Settling Chamber. The best result of the design is based on the pressure drop per

length as a parameter to determine the performance of gravity settling chamber.

From this design the most optimal results obtained in the dust collecting system with a value of pressure drop per length of each pass is 4.51 Pa / m on a horizontal pipe, nozzle and difuser. And obtained the main dimensions of the most efficient for the horizontal trajectory $B = 2.227$ m, $H = 2.227$ m and to a vertical trajectory $L = 18.2$ m with efficiency 100 percent for particles size is 100 microns. And the value of the particle transport velocity is 29.5 m / s.

Key Words : fly ash, dust collector, Gravity settling chamber, programming

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan barokah Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini tanpa ada halangan yang berarti. Penulis sepenuhnya menyadari bahwa tidak akan pernah tercipta keberhasilan seperti ini tanpa adanya kuasa dan kehendak dari Allah Tuhan semesta alam. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak – pihak yang senantiasa membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini, antara lain adalah.

1. Bapak Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT selaku dosen pembimbing yang senantiasa menuntun saya hingga mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Prof.Ir. Sutardi M.Eng,PhD , Bapak Dr. Ir.Heru Mirmanto,MT, dan Bapak Nur Ikhwan,ST,M.Eng, selaku dosen penguji yang selalu member masukan demi perbaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Witantyo M.Eng.Sc. selaku dosen wali yang senantiasa membantu saya dalam mengatasi masalah selama masa kuliah.
4. Bapak Bambang Pramujati Meng,PhD selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin ITS.
5. Kedua orang tuaku, Bapak Prihatin dan Ibu Suli'ah, terima kasih atas kasih sayang dan perjuangan kalian. Anakmu ini akan selalu berusaha berbakti kepada kalian.
6. Kakak dan adikku di rumah yang selalu memberi motivasi untuk jangan pernah menyerah.
7. Tunanganku Erfa Fatoni Dwi Putra terima kasih atas perhatian, motivasi dan cinta yang kamu berikan untukku.
8. Temen – temen Eks perintis Vivid, Ariska, Ifa, Yua, Linda, Reni, Mbak Yoni atas motivasinya.
9. Temenku Ade Bagus S terimakasih atas pinjaman laptopnya dan motivasinya.

10. Temen – temen kos 3E 7A yang “gak iso biasa”, Atik, Fani, Nisa, Didin, Yuni, Nofy, Dewi dan Mawa terima kasih buat semangatnya.
11. Dan semua pihak yang turut serta dalam penyelesaian Tuga Akhir ini yang tidak bias saya sebutkan semuanya.

Sepenuhnya penulis sadar atas ketidaksempurnaan Tugas Akhir ini. Maka dari itulah kritik dan saran sangat penulis nantikan demi perbaikan di masa mendatang. Dan penulis sangat berharap semoga Tugas Akhir ini bisa membawa manfaat bagi pembaca. Demikian sedikit kata pengantar dari penulis dan *Jayalah Selalu Indonesiaku*.

Surabaya , Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR GRAFIK	xii
DAFTAR TABEL	xiii
 BAB I : PENDAHULUAN	 1
I.1 Latar Belakang	2
I.2 Perumusan Masalah	2
I.3 Batasan Masalah	3
I.4 Tujuan Perancangan	3
I.5 Sistematika Penulisan	4
I.6 Manfaat Perancangan	4
 BAB II : DASAR TEORI	 5
II.1. Sistem Pengangkutan Abu Batubara	5
II.2. Terminal velocity dan Partikel Reynold Number	7
II.3. Critical transport velocity	10
II.3.1. Minimum Transport velocity	10
II.3.2. Pick Up Velocity	11
II.4. Gravity Settling Chamber	10
II.5. Desain dan Performa Gavity settling Chamber	13
II.6. Parameter dan Perumusan perancangan GSC	15
II.6.1. Analisa Perpiaan	16
II.6.2. Difuser	18
II.6.3. Gravity Settling Chamber	19
II.6.4. Nozzle	19
BAB III : METODE PERANCANGAN	21

III.1. Langkah Penyusunan Tugas Akhir	21
III.1.1. Penentuan Parameter Awal	21
III.1.2. Studi Pustaka	21
III.2. Perancangan Gravity Settling Chamber	21
III.3. Langkah Pembuatan Perangkat lunak	22
III.3.1. Diagram Alir Pembuatan Perangkat lunak	23
III.3.2. Diagram Alir Perancangan nilai dimensi B, H, L pada GSC	24
III.3.3. Diagram Alir Perancangan nilai Pressure Drop pada Dust Collecting System.	26
 BAB IV : PERHITUNGAN DAN PERANCANGAN	 28
IV.1. Perancangan GSC	28
IV.1.1 Metode Programing Borland Delphi 7	28
IV.1.2 Deskripsi Awal	28
IV.1.3 Input Data	30
IV.1.4 Perancangan Dimensi GSC	30
IV.1.5 Perhitungan Pressure Drop Per unit Length Pada Pipa Horizontal	34
IV.2. Grafik Performansi	35
IV.3. Contoh Perhitungan	38
IV.3.1 Perhitungan Pressure Drop Pipa Horizontal	39
IV.3.2 Perhitungan Pressure Drop diffuser	40
IV.3.3 Perhitungan Pressure Drop Nozzle	40
 BAB V : PENUTUP	 41
V.1. Kesimpulan	41
V.2. Saran	41
 Daftar Pustaka	 51
Lampiran	52
Lampiran A Coding Program	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kecepatan pengangkut untuk beberapa Material	15
--	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Fase yang terjadi pada Pneumatic Conveying System	9
Gambar 2.2 Ilustrasi kesetimbangan gaya pada sebuah partikel	11
Gambar 2.3 Horizontal flow settling chamber	16
Gambar 2.4 Howard settling chamber	17
Gambar 2.5 Gravity settler nomenclature	17
Gambar 2.6 Gambaran umum system gravity settling chamber yang direncanakan	19
Gambar 2.7 Volume atur untuk system perpipaan	20
Gambar 2.8 Volume atur untuk analisa diffuser	22
Gambar 2.9 Volume atur untuk analisa nozzle	24
Gambar 3.1 Gravity settling chamber	28
Gambar 3.2 Flowchart pembuatan perangkat lunak	30
Gambar 3.3 Flowchart perhitungan nilai dimensi B,H,L pada GSC	32
Gambar 3.4 Flowchart perhitungan nilai pressure drop per unit length pada GSC	34
Gambar 4.1 Gambar contoh bahasa pemrograman Delphi	36
Gambar 4.2 Gambar form kosong pada pemrograman	36
Gambar 4.3 Gambar contoh form interface input data	37
Gambar 4.4 Form interface program perhitungan dimensi GSC	38
Gambar 4.5 Bahasa pemrograman untuk perhitungan $\Delta P/L$ pada pipa horizontal	41
Gambar 4.6 Contoh program untuk perhitungan $\Delta P/L$ pada pipa horizontal	42

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Efek D_h pada dust collecting system terhadap $\Delta P/L$	43
Grafik 4.2 Pengaruh ρ_p terhadap $\Delta P/L$	44
Grafik 4.3 Grafik hasil perhitungan nilai U aliran multiphase	45
Grafik 4.4 Pengaruh diameter partikel terhadap collecting efficiency	46

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Energi menjadi topik yang penting karena terbatasnya sumber minyak sebagai bahan bakar utama. Terjadinya krisis energi ditahun 1970an telah mendorong industri pembangkit listrik untuk mengganti bahan bakar utamanya dari minyak ke batu bara. Deposit-deposit batu bara yang besar di Indonesia adalah juga alasan lain untuk pergantian bahan bakar industri tersebut dari minyak ke batu bara. Baru-baru ini, pemerintah Republik Indonesia telah mengeluarkan program energi listrik 10.000 MW. Program ini mempengaruhi pembangunan banyak pembangkit listrik bertenaga uap baru. Hampir setiap pembangkit listrik tenaga uap baru yang akan dibangun menggunakan batu bara sebagai bahan bakar utamanya. Ini dikarenakan batu bara lebih ekonomis daripada minyak sebagai pembakar bahan bakar.

Dengan semakin meningkatnya konsumsi masyarakat dalam penggunaan bahan bakar fosil ini khususnya batu bara meningkatkan pula dampak negatif yang ditimbulkan, khususnya terhadap lingkungan. Beberapa dampak negatif yang disebabkan oleh batu bara ini sangat beragam, dan dua diantaranya yaitu masalah pencemaran berupa gas dan abu terbang (*fly ash*). Masalah pencemaran berupa gas dipicu saat pembangkit listrik berbahan bakar batu bara ini menghasilkan gas buang berupa CO, CO₂, NO, NO₂ dan lainnya. Gas buang yang dihasilkan tersebut beracun sehingga bisa menimbulkan berbagai macam penyakit pada manusia bahkan bisa menimbulkan kematian dan juga merusak lapisan ozon sehingga menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem bumi.

Pencemaran lainnya yang dihasilkan oleh pembakaran dalam tungku bakar boiler pembangkit tenaga listrik bertenaga uap yang dibakar dengan batu bara adalah abu. Abu dihasilkan oleh pembakaran batu bara di tungku bakar boiler mempunyai dua

bentuk : abu terbang (fly ash) dan abu dasar (bottom ash). Abu dasar adalah abu yang jatuh secara langsung ke dasar tungku bakar tersebut dikarenakan bobotnya sendiri atau gravitasi. Sementara itu, abu terbang bersama-sama dengan gas cerobong dihisap oleh fan pembuang (exhaust fan). Karena salah satu dari pencemaran udara yang berbahaya dipicu oleh abu terbang (*fly ash*), maka sebelum abu terbang bersama-sama dengan gas cerobong keluar ke udara mereka harus dikendalikan oleh control polusi udara agar dampak negative seperti beragam penyakit yang ditimbulkan pada manusia bisa diminimalisir. Untuk mengontrol polusi pada udara ada beberapa jenis alat yang bisa digunakan seperti *Gravity settling chamber (GSC)*, *cyclone*, *electrostatic precipitator (ESP)*, *fabric filter*, *wet scrubber*. Dari beberapa alat yang disebutkan di atas *electrostatic precipitator (ESP)* adalah alat yang paling tinggi efisiensi collecting dustnya namun semakin tinggi efisiensi collectingnya semakin mahal biaya pengoperasiannya, oleh karena itu diperlukan *Gravity settling chamber (GSC)* sebagai *precleaner* untuk meminimalisasi biaya yang dikeluarkan. Selain untuk mengurangi biaya operasi juga digunakan agar abrasifitas karena gesekan yang terjadi pada *electrostatic presipitator (ESP)* bisa berkurang. *Gravity settling chamber* dipilih sebagai *precleaner* disini karena desain alatnya sederhana, mudah dibuat konstruksinya, pemeliharaan yang mudah dan paling penting biaya pengoperasiannya tidak mahal ^[1]. Untuk mendapatkan desain yang paling efisien sebagai *precleaner* pada *Gravity settling chamber (GSC)* agar fungsinya bisa optimal yaitu bisa mengumpulkan debu semaksimal mungkin diperlukan perancangan yang sesuai. Dan mengacu pada masalah yang terjadi di atas maka dibuatlah tugas akhir ini.

Apabila proses perancangan gravity settling chamber dilakukan secara manual maka membutuhkan waktu yang lama, karena banyak variable yang harus dirancang. Selain itu juga terdapat peerhitungan yang memiliki pengulangan. Dengan adanya teknologi computer, perancangan secara manual menggunakan

perangkat lunak (*software*) yang dimiliki oleh computer. Contoh dari *software* untuk aplikasi perhitungan adalah Borland Delphi 7. Dengan bantuan perangkat lunak ini maka proses perancangan gravity settling chamber ini menjadi lebih mudah dan cepat. Tentu saja aplikasi perhitungan ini dapat mempersingkat waktu perhitungan perancangan, juga didapatkan hasil perhitungan yang lebih akurat.

I.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan, dapat dirumuskan permasalahan yang akan dikaji dalam perancangan ini yaitu :

1. Bagaimana membuat perangkat lunak untuk perancangan *gravity settling chamber* yang sederhana dan mudah dioperasikan.
2. Bagaimana merancang dimensi utama *gravity settling chamber* dengan menghasilkan opsi perancangan yang optimal
3. Berapa *pressure drop per unit length* yang terjadi dalam (Pa/m) pada *dust collecting system*
4. Bagaimana grafik efisiensi penangkapan terhadap diameter partikel dari hasil modifikasi perancangan tersebut

I.3 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah yang digunakan dalam perancangan Gravity settling chamber meliputi :

1. Tidak menghitung perpindahan energi atau *heat transfer* antara partikel ke dinding
2. Kapasitas aliran yang masuk dalam *dust collecting system* sebesar $5 \text{ m}^3/\text{s}$
3. Kemungkinan terjadi penyumbatan atau pengendapan aliran di sepanjang pipa tidak dibahas
4. Gaya gesek antar partikel diabaikan.

5. Rasio konsentrasi volume partikel padat dalam gas (α_p) adalah 0,1 (*dilute phase*)
6. Mengabaikan analisa energy system.
7. Partikel diasumsikan berbentuk bola.
8. Diameter partikel yang digunakan sebagai dasar perancangan adalah 100 μm .

1.4 Tujuan Perancangan

Adapun tujuan dalam Tugas Akhir ini adalah melalui perangkat lunak dapat digunakan untuk menghitung :

1. Dimensi utama *gravity settling chamber*
2. *Pressure drop* setiap laluan pada *dust collecting system*
3. Grafik performansi *gravity settling chamber*
4. Nilai kecepatan transport pada *gravity settling chamber*

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB 1 : PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang permasalahan, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, sistematika penulisan, serta manfaat penelitian untuk perancangan *Gravity settling chamber*.

BAB II : DASAR TEORI

Bab ini mengulas tentang dasar-dasar teori dan pemikiran yang digunakan sebagai acuan dalam usaha perancangan *Gravity settling chamber*.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai tahapan – tahapan proses perancangan *Gravity settling chamber* . penjelasan ini berupa flowchart perancangan dan tahapan programming yang dijadikan acuan perancangan .

BAB IV : ANALISA DAN PERANCANGAN

Bab ini berisi tentang hasil analisa perancangan *Gravity settling chamber*.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang dapat diambil dari serangkaian analisa dan perancangan *Gravity settling chamber (GSC)* yang telah dilakukan, serta saran yang dapat diberikan sebagai masukan dan kritik terhadap proses penelitian secara keseluruhan yang juga dimaksudkan sebagai rekomendasi untuk pengembangan penelitian berikutnya.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diberikan melalui Tugas Akhir ini adalah :

1. Memberikan sumbangan pemikiran bagi pengembangan industry serta pengembangan riset di jurusan Teknik Mesin FTI ITS.
2. Menambah perbendaharaan makalah dan memberikan sumbangsih terhadap keberlanjutan dan kesinambungan kegiatan penelitian di Indonesia
3. Mempermudah dan mempercepat proses perancangan *gravity settling chamber*
4. Mendapatkan hasil perhitungan yang lebih akurat dibandingkan proses perhitungan secara manual.
5. Perancangan dengan *programming* ini dengan mudah dapat dilakukan modifikasi parameter dengan cepat.
6. Mengenalkan kepada mahasiswa mengenai kemampuan perangkat computer terutama bidang keteknikan
7. Menambah pengetahuan mengenai cara merancang *gravity settling chamber* yang optimal dengan bantuan *programming* Borland Delphi 7

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Sistem Pengangkutan Abu Batubara (Ash Conveying System)

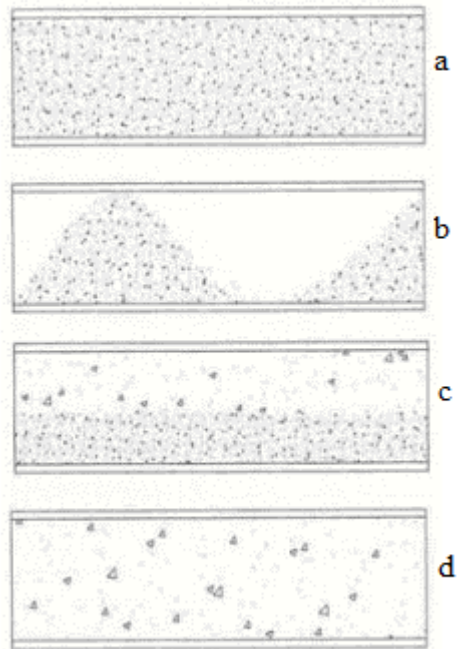
2.1.1 Jenis Sistem Pengangkutan Abu Batubara

Secara garis besar, system pengangkutan abu batubara dapat dilakukan secara manual, mekanis, pneumatic, dan hidrolik. Pengangkutan secara pneumatic dan hidrolik memanfaatkan perpipaan sebagai media pengangkutan. System pengangkutan secara pneumatic adalah system pengangkutan dengan memanfaatkan udara atau gas bertekanan tinggi sebagai media penggerak sekaligus pengangkut yang kemudian bercampur dan mengalir bersama partikel abu batubara dalam perpipaan. Sedangkan system pengangkutan secara hidrolik memanfaatkan air bertekanan tinggi untuk menggerakkan sekaligus mengangkut abu batubara, dimana kemudian keduanya bercampur dan mengalir bersama dalam perpipaan. Kondisi dimana aliran yang terjadi dalam perpipaan adalah aliran campuran antara partikel abu batubara dengan fluida (air maupun udara) akan membentuk aliran multiphase yang memerlukan analisa secara cermat karena karakter alirannya yang amat kompleks. Aliran multiphase adalah aliran yang terjadi akibat mengalirnya lebih dari satu fase material atau fluida tertentu dimana aliran tersebut bisa terdiri dari campuran fase liquid-gas, gas-solid, liquid-solid ataupun gabungan dari ketiga fase tersebut. Dalam aliran multiphase karena bisa terdiri atas lebih dari satu material maka terdapat lebih dari satu densitas pula. Karena perbedaan densitas tersebut aliran pada arah horizontal pun tidak sepenuhnya akan mengalir melalui sumbu axisnya (sumbu x) melainkan karena adanya gaya gravitasi yang bekerja pada fase dengan densitas yang lebih tinggi (biasanya terjadi pada fase solid) menyebabkan adanya gaya vertikal yang membuat aliran tersebut mengalir pada lintasan tertentu akibat sultan gaya vertical dan horizontalnya. Pada aliran

multiphase sangat penting diketahui fraksi konsentrasi antar fase dalam aliran . Dimana fungsi tersebut akan mempengaruhi analisa selanjutnya dari aliran multiphase tersebut. Pada salah satu jenis aliran yang akan dibahas nantinya yaitu aliran yang terdiri dari partikel berfase gas dan solid yang didalamnya memiliki tipe aliran yang berbeda. Aliran yang memiliki fase gas dan solid yang mengalir diklasifikasikan atas aliran bertipe *dense phase* dan *dilute phase* .

System pengangkutan secara pneumatic dibagi lagi menjadi beberapa fase, yaitu *Dilute-Phase conveying system* dan *Dense-Phase conveying system*. Pada fase dilute kecepatan pada aliran stabil karena tidak banyak atau tidak ada timbunan partikulat yang terjadi dan partikel abu batu bara bercampur dengan fluida penggerak batubara secara homogen. Akan tetapi kontrol terhadap kecepatan aliran menjadi hal yang penting untuk menjaga kapasitas aliran serta pemilihan ukuran pipa. Kecepatan aliran harus diperhitungkan dengan mempertimbangkan kemungkinan terjadinya efek sandblasting dan abrasi terhadap dinding pipa oleh abu batubara. Sedangkan pada fase dense merupakan system pengangkutan abu batubara secara pneumatic, dimana fase campuran abu batubara dengan udara dalam konsentrasi yang sangat tinggi, bahkan butiran abu batubara memenuhi penampang pipa. Pada system ini dibutuhkan tekanan yang cukup besar, yaitu mencapai 60 psig atau 414 kPa, untuk dapat mengalirkan butiran - butiran abu batubara, tetapi kecepatan alirannya akan lambat yaitu antara 3 m/s (10,8 km/jam) hingga 10 m/s (36 km/jam). Oleh karenanya, system ini banyak digunakan untuk pengangkutan abu batubara jarak pendek dengan kapasitas yang rendah.

Fase transisi antara fase dense dan dilute juga mungkin terjadi dalam system pneumatic untuk pengangkutan abu batubara ini, seperti ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.1 Fase yang terjadi pada Pneumatic Conveying System

- a) *Solid Dense-Phase*, dimana penampang pipa dipenuhi oleh butiran abu batubara.
- b) *Discontinuous Dense-Phase*, dimana butiran abu batubara bergerak secara berkelompok.
- c) *Continuous Dense-Phase*, dimana butiran abu batubara membentuk endapan di dasar pipa.
- d) *Dilute-Phase*, dimana butiran abu batubara bercampur dengan udara bertekanan secara homogeny.

Dalam membedakan analisa dense phase dan dilute phase hal

yang penting untuk diamati adalah terjadinya interaksi antar partikel. Pada aliran dense phase interaksi yang terjadi antar partikel tidak dapat diabaikan seperti pada aliran berfase dilute. Interaksi antar partikel yang terjadi akan menyebabkan partikel bergerak pada kecepatan yang tidak stabil.

2.2 Critical / terminal Velocity of Flow dan Particle Reynolds Number

¹Terminal velocity adalah kecepatan minimal yang dibutuhkan sebuah partikel untuk tetap berada dalam sebuah medium fluida (terapung) atau kondisi dimana pada suatu alirangas solid, pada aliran tersebut partikel solid dalam keadaan diam pada kecepatan tertentu. Ketika sebuah partikel jatuh bebas dalam sebuah medium fluida, gaya apung dan gaya drag bekerja ke atas, sedangkan gaya berat partikel bekerja ke bawah. Setiap kali ada perbedaan kecepatan antara partikel dan gaya disekitarnya, fluida akan mengerahkan gaya resistif pada partikel. Gaya resistif yg diberikan pada partikel oleh gas disebut dengan drag. Gaya drag yang terjadi meliputi dua fenomena, yang pertama adalah frictional drag pada permukaan partikel yang disebabkan oleh gesekan dari fluida saat melintasi partikel, yang disebut dengan viscous drag, sedangkan yang kedua adalah form drag karena adanya perbedaan tekanan antara bagian depan dan belakang partikel, dimana bagian belakang partikel mengalami penurunan tekanan akibat terjadinya wake.

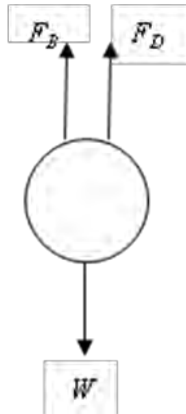
Kedua jenis bervariasi menurut kecepatan relative antara partikel dengan fluidanya. Oleh karenanya koefisien drag dari sebuah partikel yang bergerak dalam fluida dinyatakan dengan :

$$C_D = 2F_D / A_p \rho v^2 \text{ atau } F_D = C_D A_p \rho v^2 / 2 \dots \dots \dots (2.1)^{[2]}$$

Dimana : C_D	= Koefisien drag
F_D	= Gaya drag
A_p	= Luas penampang partikel (bola)

v = Kecepatan partikel
 ρ = Massa jenis fluida (gas)

Kesetimbangan gaya pada partikel (yang diasumsikan berbentuk bola) adalah seperti pada gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 Ilustrasi kesetimbangan gaya pada sebuah partikel

$$W = F_D + F_B \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana : Gaya drag (F_D) adalah $F_D = C_D A_p \rho v^2 / 2$

Volume partikel (bola) = $(\pi/6)d_p^3$

luas penampang partikel (bola) = $(\pi/4)d_p^2$

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga : } (\pi/6)d_p^3 \rho_p g &= C_D A_p \rho v^2 / 2 + (\pi/6)d_p^3 \rho g \\
 (\pi/6)d_p^3 \rho_p g &= C_D (\pi/4)d_p^2 \rho v^2 / 2 + (\pi/6)d_p^3 \rho g \\
 (\pi/6)d_p^3 (\rho_p - \rho) g &= C_D (\pi/4)d_p^2 \rho v^2 / 2
 \end{aligned}$$

Dari persamaan di atas didapatkan persamaan koefisien drag untuk partikel jatuh bebas adalah sebagai berikut :

$$C_D = 4(\rho_p - \rho)gd_p / 3\rho v_t^2 \dots\dots\dots (2.3)^{[2]}$$

Dimana : d_p = Diameter partikel
 v_t = Kecepatan terminal partikel
 ρ_p = Massa jenis partikel
 ρ = Massa jenis medium (udara)
 g = Percepatan gravitasi

Karena variasi nilai Reynolds yang terjadi maka terdapat tiga bentuk persamaan kecepatan terminal pada partikel yang berbentuk bola yaitu :

$$v_t = \left[\frac{gd_p^2(\rho_p - \rho)}{18\mu} \right] \dots\dots\dots (2.4)^{[1]}$$

Persamaan di atas umumnya disebut *stokes' law equation*, dimana persamaan ini hanya berlaku untuk partikel bergerak dengan *reynold number* $Re < 1$ dan koefisien drag = 0,24. Sedangkan pada $2 < Re < 500$ atau yang disebut pada kondisi *intermediate range*. Kecepatan terminal yang digunakan pun berbeda yaitu menggunakan persamaan :

$$v_t = \left[\frac{0,153 (g\rho_p)^{0,71} d_p^{1,14}}{\rho^{0,29} \mu^{0,43}} \right] \dots\dots\dots (2.5)^{[1]}$$

Pada kondisi selanjutnya yaitu $500 < Re < 200000$ atau yang disebut dengan *Newton's law range* kecepatan terminal yang digunakan adalah

$$v_t = \left[\frac{1,74gd_p(\rho_p - \rho)}{\rho} \right] \dots\dots\dots (2.6)^{[1]}$$

Biasanya untuk menentukan *settling velocity* dari partikel jika diameter tidak diketahui akan membutuhkan system perhitungan trial and error jika nilai reynold number partikel tidak diketahui. Akan tetapi ada cara lain yang bisa digunakan untuk menngatasinya secara langsung yaitu dengan mencari nilai konstannta tanpa dimensi (K). Untuk mendapatkan nilai K maka persamaan yang digunakan adalah

$$K = d_p \left[\frac{g \rho_p \rho}{\mu^2} \right]^{1/3} \dots \dots \dots (2.7)^{[1]}$$

Dengan nilai range K adalah

$K < 3,3$	Stokes' law range
$3,3 < K < 43,6$	Intemediate range
$43,6 < K < 2360$	Newton's law range

Dengan menggunakan pendekatan yang sama dengan pendekatan di atas untuk mendefinisikan *settling velocity* jika kecepatan terminal diketahui dan diameter partikel tidak diketahui^[1] yaitu

$$W = \frac{v^3 \rho^2}{g \mu \rho_p} \dots \dots \dots (2.8)^{[1]}$$

Dengan nilai range W adalah

$W < 0,2222$	Stokes' law range
$0,2222 < W < 1514$	Intemediate range
$W > 1514$	Newton's law range

2.3 Critical transport velocity

2.3.1 Minimum transport velocity

Pada pergerakan vertical solid pada aliran horizontal sangat dipengaruhi oleh rasio kecepatan terminal dengan kecepatan gesekan. Pada pipa sirkular kecepatan aliran rata – rata dapat berhubungan dengan kecepatan gesekan.

$$\frac{U}{U_f} = 5 \log \left(\frac{\rho D_d U}{\mu} \right) \dots \dots \dots (2.9)^{[2]}$$

Dimana U adalah kecepatan transport horizontal partikel

Sedangkan U_f adalah kecepatan gesekan yang terjadi oleh campuran gas dan partikel berdasarkan densitas campuran didefinisikan dengan:

$$U_f = \sqrt{\frac{\tau_w}{\alpha_p \rho_p + (1 - \alpha_p) \rho}} \quad \text{atau} \quad \sqrt{\frac{D_d \Delta p}{4L [\alpha_p \rho_p + (1 - \alpha_p) \rho]}} \dots \dots \dots (2.10)^{[2]}$$

Dimana D_d adalah diameter laluan yang besarnya sesuai dengan bentuk laluan.

Kecepatan gesekan antara partikel dan gas pada kondisi transportasi minimum mungkin berhubungan dengan konfigurasi sistem dan kondisi operasi oleh dua langkah metode korelasi, pertama, untuk mendapat kecepatan pada kondisi transportasi minimum di bawah infinite dilution dan kedua untuk mengoreksi ketergantungan konsentrasi. Fungsi ketergantungan U_f pada konsentrasi solid didapatkan dari :

$$\frac{U_f}{U_{fo}} = 1 + 2.8 \left(\frac{v_t}{U_{fo}} \right)^{1/3} \alpha_p^{1/2} \dots \dots \dots (2.11)^{[2]}$$

Dimana v_t adalah kecepatan terminal partikel dan U_{fo} adalah kecepatan gesekan saat kondisi minimum transport dan konsentrasi solid nol. Selanjutnya U_{fo} didapatkan dari :

$$\frac{v_t}{U_{fo}} = 4.90 \left(\frac{d_p}{D_d} \right) \left(\frac{D_d U_{fo} \rho}{\mu} \right)^{0.4} \left(\frac{\rho_p - \rho}{\rho} \right)^{0.23} \dots \dots \dots (2.12)^{[2]}$$

Untuk $d_p > 5\mu/\rho U_{fo}$ dan

$$\frac{v_t}{U_{fo}} = 0.01 \left(\frac{D_d U_{fo} \rho}{\mu} \right)^{2.71} \dots \dots \dots (2.13)^{[2]}$$

Untuk $d_p < 5\mu/\rho U_{fo}$

2.3.2 Kecepatan pengangkut (pick up velocity)

Jika kecepatan aliran gas 1 cukup tinggi, partikel dikumpulkan tidak akan disimpan oleh permukaan, tetapi akan ikut terbawa ke dalam aliran udara yang bergerak. Hal ini bisa menyebabkan efisiensi penangkapan partikel berkurang. Pertimbangan pick up velocity atau suspensi untuk aliran horizontal memang penting dan harus diperhatikan. Oleh karena itu, dalam gravity settling chamber sederhana, kecepatan aliran gas seharusnya tidak melebihi pick up velocity. Tipikal pick up velocity akan ditunjukkan pada table 2.1 jika data material tidak tersedia pada table maka diasumsikan besarnya adalah 10 ft/s. Dalam kasus ini kecepatan gas yang melewati gravity settling chamber (*throughput velocity*) harus kurang dari 10 ft/s.

Tabel 2.1 Kecepatan pengangkut untuk berbagai material^[1]

Material	Density, g/cm ³	Median Particle Size, μm	Pickup Velocity, ft/s
Aluminum chips	2.72	335	14.2
Asbestos	2.20	261	17.0
Nonferrous foundry dust	3.02	117	18.8
Lead oxide	8.26	14.7	25.0
Limestone	2.78	71	21.0
Starch	1.27	64	5.8
Steel shot	6.85	96	15.2
Wood chips	1.18	1370	13.0
Wood sawdust	—	1400	22.3

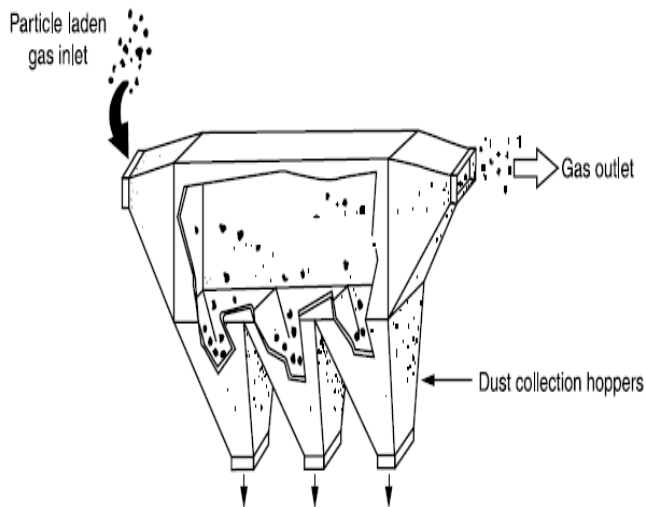
Akan tetapi dengan mengabaikan gesekan antar partikel pick up velocity bisa didapatkan dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$v_{pt} = \sqrt{\frac{4g d_p}{3} \left(\frac{\rho_p}{\rho} - 1 \right)} \dots \dots \dots (2.14)^{[2]}$$

2.4 Gravity settling chamber

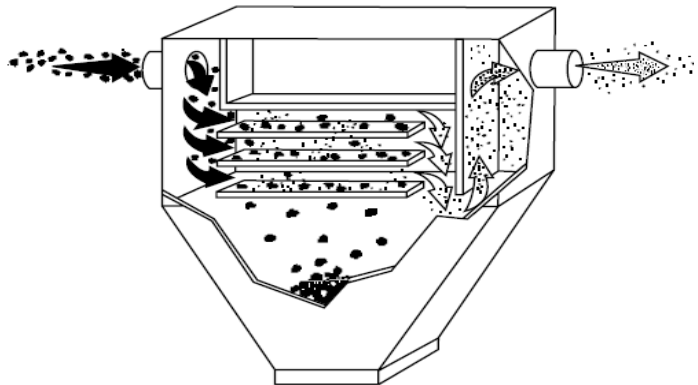
Gravity settling chamber adalah salah satu perangkat pertama yang digunakan untuk mengontrol emisi partikel. Ini adalah suatu jenis alat yang pada prinsipnya berupa ruang ekspansi di mana kecepatan gas berkurang, sehingga memungkinkan partikel untuk jatuh kebawah akibat gravitasi. Salah satu fitur utama dari perangkat ini adalah bahwa gaya eksternal menyebabkan pemisahan partikel dari aliran gas secara alami. Sekarang kegunaan gravity settling chamber yang dulunya adalah sebagai alat utama pembersih udara dan mengontrol emisi partikel, telah bergeser sebagai precleaner atau post cleaner untuk alat control partikulat lainnya seperti (*cyclone, Electrostatic presipitator, scrubber, dan fabric filter*) .

Pada dasarnya ada dua type dry gravity settling chamber yang ada yaitu *simple expansion chamber* dan *multiple-try settling chamber*. Tipikal horizontal flow (simple expansion) dapat ditunjukkan pada gambar 2.3. Bentuk konstruksi dari type ini terdiri dari kotak horizontal yang memanjang dengan saluran masuk dan keluar gas serta penangkap debu. Partikel dan gas masuk melalui saluran masuk kemudian masuk pada kotak ekspansi yang mana kecepatannya berkurang dan partikel akan jatuh karena gaya gravitasi dengan range kecepatan (1.0 ft/s – 10.0 ft/s).



Gambar 2.3 Horizontal flow settling chamber ^[1]

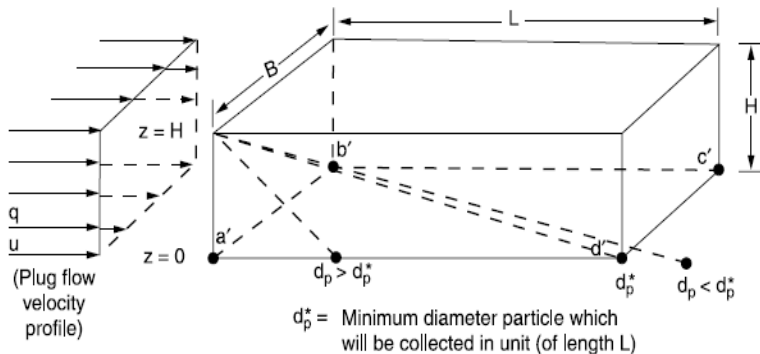
Multiple-try settling chamber adalah type kedua yang juga disebut sebagai howard settling chamber, yang ditunjukkan oleh gambar 2.4. Beberapa horizontal plat N yang ada dalam box horizontalnya bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penangkapan abu terbangnya sampai diameter terkecil 15 μm ^[1].



Gambar 2.4 howard settling chamber (multiple-tray)^[1]

2.5 Desain dan performa Gravity settling chamber.

Gambaran umum tentang sistem *Gravity settling chamber* yang direncanakan dapat dilihat secara lebih detail pada gambar 2.5 di bawah ini :



Gambar 2.5 Gravity settler nomenclature^[1]

Pada kondisi operasi dan karakteristik fisik, pada sesi ini akan membahas tentang reynold number pada partikel drag dan

ukuran distribusi partikel. Analisa dimulai dengan memeriksa perilaku partikel berbentuk bola tunggal dalam *settler* dimana sebagian profile kecepatan aliran udara tersumbat, aliran udara yang melewati chamber adalah seragam. Partikel diasumsikan berada pada puncak unit. Pada posisi inlet atau posisi awal adalah posisi paling sulit untuk menangkap partikel, diasumsikan bahwa komponen kecepatan vertical partikel adalah kecepatan terminal. Waktu yang dibutuhkan partikel diabaikan sehingga jarak partikel juga diabaikan untuk mencapai hasil pendekatan kecepatan terminal yang constan.

Agar terjadi penangkapan, partikel harus mencapai permukaan penangkap a'b'c'd' selama waktu t_r pada unit. Untuk plug flow :

$$t_r = \frac{L}{u} \dots \dots \dots (2.15)^{[1]}$$

dimana : t_r = lama partikel berada dalam gravity settling chamber

L = panjang settling chamber

u = kecepatan horizontal aliran

dengan

$$u = \frac{q}{BH} \dots \dots \dots (2.16)^{[1]}$$

Dari persamaan diatas didapatkan

$$t_r = \frac{LBH}{q} \dots \dots \dots (2.17)^{[1]}$$

dimana : q adalah *volumetric flow rate gas*

Sedangkan waktu partikel untuk jatuh t_s

$$t_s = \frac{H}{vt} \dots \dots \dots (2.18)^{[1]}$$

Agar terjadi penangkapan artikel syaratnya

$$t_s \leq t_r \dots \dots \dots (2.19)^{[1]}$$

Dari persamaan diatas dapat disubstitusikan menjadi :

$$\frac{H}{vt} = \frac{LBH}{q} \text{ atau } vt = \frac{q}{LB} \dots \dots \dots (2.20)^{[1]}$$

Sedangkan efisiensi penangkapan yang terjadi pada settling chamber dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E = \frac{vtBL}{q} \dots\dots\dots(2.21)^{[1]}$$

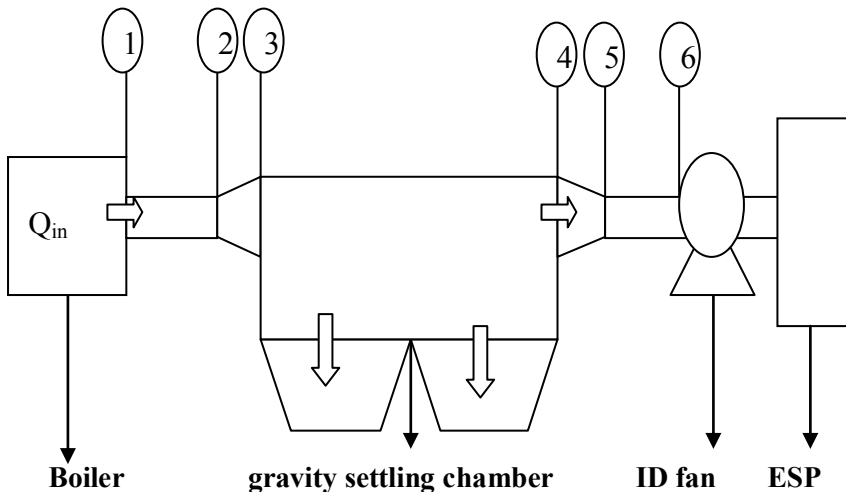
Atau

$$E = \frac{vtL}{\frac{uH^*}{H}} \dots\dots\dots(2.22)^{[1]}$$

$$E = \frac{H^*}{H} \dots\dots\dots(2.23)^{[1]}$$

2.6 Parameter dan Perumusan dalam Perancangan *Gravity settling chamber*.

Gambaran umum tentang sistem *Gravity settling chamber* yang direncanakan dapat dilihat secara lebih detail pada gambar 2.4 dimana bisa dilihat pada gambar bahwa ada kapasitas *ash* yang masuk dari boiler melewati pipa laluan lalu masuk diffuser selanjutnya masuk ke dalam *gravity settling chamber* yang nantinya sebagian akan jatuh dan keluar melalui *hopper* pada bagian bawah *gravity settling chamber*, sebagian kapasitas lain masuk nozzle untuk dilanjutkan ke ESP.

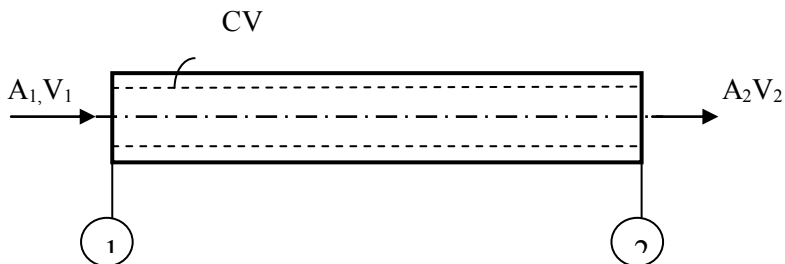


Gambar 2.4 Gambaran umum sistem *gravity settling chamber* yang direncanakan

Keterangan :	1 – 2	Pipa laluan
	2 – 3	Difuser
	3 – 4	Settling chamber
	4 – 5	Nozzle
	5 – 6	Pipa laluan
	Q_{in}	Kapasitas inlet
	Q_{out}	Kapasitas outlet
	Q_k	Kapasitas keluar hopper

2.6.1 Analisa perpipaan

Analisa perpipaan dapat ditunjukkan dengan volume atur seperti pada gambar 2. di bawah ini, dimana titik 1 adalah keluaran boiler dan titik 2 menunjukkan keluar an pipa yang berhubungan langsung dengan *difuser*. Sedangkan yang mengalir dalam volume atur pipa ini adalah campuran antara partikel – partikel abu terbang dengan fluida penggerak udara.



Gambar 2.5 volume atur untuk sistem perpipaan

Persamaan dasar kesetimbangan energi dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\left[\frac{p_1}{\gamma} + \alpha \frac{v_1^2}{2g} + z_1 \right] = \left[\frac{p_2}{\gamma} + \alpha \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \right] + h_{l_{1-2}} \dots \dots \dots (2.24)^{[4]}$$

Dengan asumsi

1. Steady flow
2. Incompressible flow
3. Uniform pressure antara section 1 dan 2

4. Aliran turbulen ,sehingga $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$

Sehingga persamaan menjadi :

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} + z_2 - z_1 + h_{l-2}$$

Akan tetapi persamaan diatas hanya berlaku untuk aliran *single phase*, sedangkan untuk aliran multiphase harus dilakukan perhitungan terhadap pergerakan vertical solid pada aliran horizontal yang nantinya akan sangat dipengaruhi oleh rasio kecepatan terminal dengan *friction velocity*^[2]. Sehingga untuk mendapatkan nilai *pressure drop per length* pada pipa hal pertama yang harus dilakukan adalah menentukan nilai kecepatan terminalnya (v_t), kecepatan minimum tranport saat konsentrasi nol (U_0), friction velocity (U_f).

$$\frac{\Delta P}{L} = [\alpha_p \rho_p + (1 - \alpha_p) \rho] \frac{4 U_f^2}{D_h} \dots \dots \dots (2.25)^{[2]}$$

Dimana nilai kecepatan terminalnya ditentukan dengan menghitung nilai K untuk menentukan kondisi kecepatan terminalnya.

$$K = d_p \left[\frac{g(\rho_p - \rho)}{\mu^2} \right]^{1/3} \dots \dots \dots (2.26)^{[1]}$$

Untuk $K < 3,3$ dengan $v_t = \left[\frac{g d_p^2 (\rho_p - \rho)}{18 \mu} \right]$

$43,6 > K > 3,3$ dengan $v_t = \left[\frac{0,153 (g \rho_p)^{0,71} d_p^{1,14}}{\rho^{0,29} \mu^{0,43}} \right]$

$2360 > K > 43,6$ dengan $v_t = \left[\frac{1,74 g d_p (\rho_p - \rho)}{\rho} \right]$

Dengan persamaan diatas bisa didapatkan nilai kecepatan minimum transport pada konsentration nol .

Untuk $d_p > \frac{5\mu}{\rho U_{f0}}$ maka

$$\frac{v_t}{U_{f0}} = 4.90 \left(\frac{d_p}{D_h} \right) \left(\frac{D_h U_{f0} \rho}{\mu} \right)^{0.4} \left(\frac{\rho_p - \rho}{\rho} \right)^{0.23} \dots\dots\dots (2.27)^{[2]}$$

$d_p < \frac{5\mu}{\rho U_{f0}}$ maka

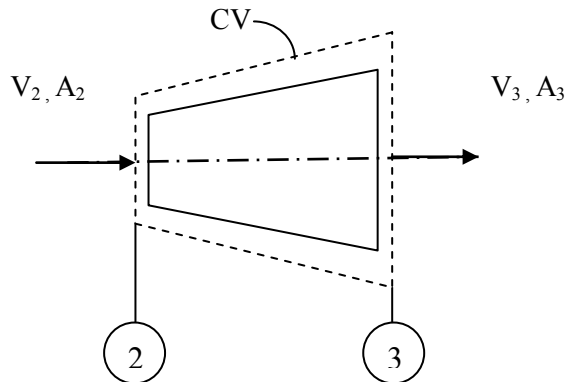
$$\frac{v_t}{U_{f0}} = 0.01 \left(\frac{D_h U_{f0} \rho}{\mu} \right)^{2.71} \dots\dots\dots (2.28)^{[2]}$$

Sehingga bisa didapatkan nilai *friction velocity*.

$$U_f = U_{f0} \left(1 + 2.8 \left(\frac{v_t}{U_{f0}} \right)^{1/3} \alpha_p^{1/2} \right) \dots\dots\dots (2.29)^{[2]}$$

2.6.2 Difuser

Analisa aliran di difuser (seperti pada gambar 2.6) diturunkan dari persamaan keseimbangan energi seperti pada komponen lainnya. Adapun persamaan tersebut adalah



Gambar 2.6 Volume atur untuk analisa difuser.

$$\frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 = \frac{P_3}{\rho} + \frac{V_3^2}{2g} + gz_3 + \text{losses}_{2-3} \dots \dots \dots (2.30)^{[4]}$$

Asumsi yang diambil adalah :

1. Tidak ada perbedaan ketinggian di dalam volume atur tersebut, maka $z_2 - z_3 = 0$
2. Losses yang dimaksud hanya losses karena perubahan penampang difuser (*enlargement*), yang dirumuskan sebagai :

$$h_{lm} = K \frac{V^2}{2}$$

dimana : K adalah koefisien gesek difuser

$$P_3 - P_2 = \rho \frac{V_2^2}{2} - \rho \frac{V_3^2}{2} - \rho K \frac{V_2^2}{2}$$

$$P_3 - P_2 = \rho \cdot \frac{1}{2} (V_2^2 - V_3^2 - KV_2^2)$$

Berdasarkan prinsip kontinuitas $\dot{m}_2 = \dot{m}_3$:

$$V_2 A_2 = V_3 A_3 \text{ atau } V_3 = V_2 \frac{A_2}{A_3} = V_2 \cdot a$$

Maka persamaan akan menjadi :

$$P_3 - P_2 = \rho \cdot \frac{1}{2} (V_2^2 - V_2^2 a^2 - KV_2^2)$$

$$P_3 - P_2 = \rho \cdot \frac{1}{2} V_2^2 (1 - a^2 - K)$$

Akan tetapi seperti pada analisa pipa diatas persamaan kesetimbangan energi di atas hanya berlaku untuk aliran pada single phase sedangkan untuk multiphase adalah sama dengan analisa pada pipa diatas karena sama – sama pada aliran horizontal^[2], yang membedakan analisa pipa dan difuser ini adalah *friction velocity* yang dihasilkan berbeda karena perubahan penampang difuser, sehingga pressure drop per unit length yang dihasilkan juga berbeda .

2.6.3 Gravity settling chamber

Menentukan nilai dimensi utama pada gravity settling chamber dengan menentukan nilai terminal velocitynya (v_t), collection area (BL), cross section area (BH). Dengan menentukan nilai H maka didapat nilai dimensi utama B,H,L (gambar 2.5).

$$BL = \left[\frac{18\mu q}{g \rho_p d_p^2} \right] \text{ atau } \frac{q}{v_t} \dots \dots \dots (2.31)^{[1]}$$

$$A = \frac{q}{v_t} \dots \dots \dots (2.32)$$

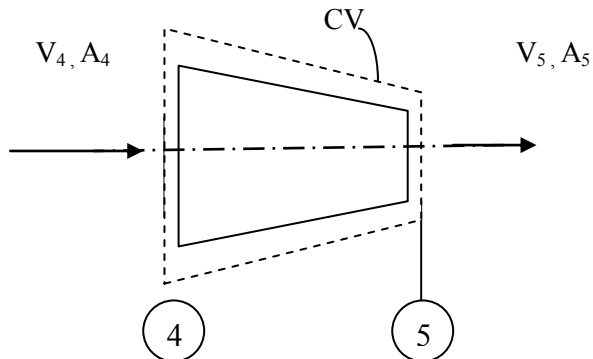
Dapat diketahui nilai cross section area dengan membagi volumetric flow rate (q) dengan kecepatan terminal (v_t) dan B

$$L = \frac{q}{v_t \times B} \dots \dots \dots (2.33)^{[1]}$$

Dengan menentukan nilai H maka nilai B,H,L didapatkan.

2.6.4 Nozzle

Analisa aliran di nozzle diturunkan dari persamaan keseimbangan energi seperti pada komponen lainnya . adapun persamaan tersebut adalah :



Gambar 2.7 Volume atur untuk analisa nozzle.

$$\frac{p_4}{\rho} + \frac{v_4^2}{2} + gz_4 = \frac{p_5}{\rho} + \frac{v_5^2}{2g} + gz_5 + losses_{4-5}$$

Asumsi yang diambil adalah :

1. Tidak ada perbedaan ketinggian di dalam volume atur tersebut, maka $z_4 - z_5 = 0$
2. Losses yang dimaksud hanya losses karena perubahan penampang nozzle (*contraction*)

Berdasarkan prinsip kontinuitas $\dot{m}_4 = \dot{m}_5$:

$$V_4 A_4 = V_5 A_5 \text{ atau } V_5 = V_4 \frac{A_4}{A_5} = V_4 \cdot \alpha$$

Akan tetapi seperti pada analisa pipa diatas persamaan kesetimbangan energi diatas hanya berlaku untuk aliran pada single phase sedangkan untuk multiphase adalah sama dengan analisa pada pipa diatas karena sama – sama pada aliran horizontal^[2], yang membedakan analisa pipa dan nozzle ini adalah friction velocity yang dihasilkan berbeda karena perubahan penampang nozzle, sehingga *pressure drop per unit length* yang dihasilkan juga berbeda .

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Langkah Penyusunan Tugas Akhir

3.1.1 Penentuan Parameter Awal

Parameter yang dibutuhkan dalam menyusun tugas akhir perancangan mekanisme pemisahan *fly ash* dari sisa pembakaran PLTU menggunakan *dust collector type gravity settling chamber* adalah sebagai berikut :

1. Laju aliran massa (Q)
2. Diameter partikel (d_p)
3. Efisiensi collecting partikel (E)
4. Viskositas udara (μ)
5. Massa jenis udara (ρ)
6. Massa jenis partikel (ρ_p)

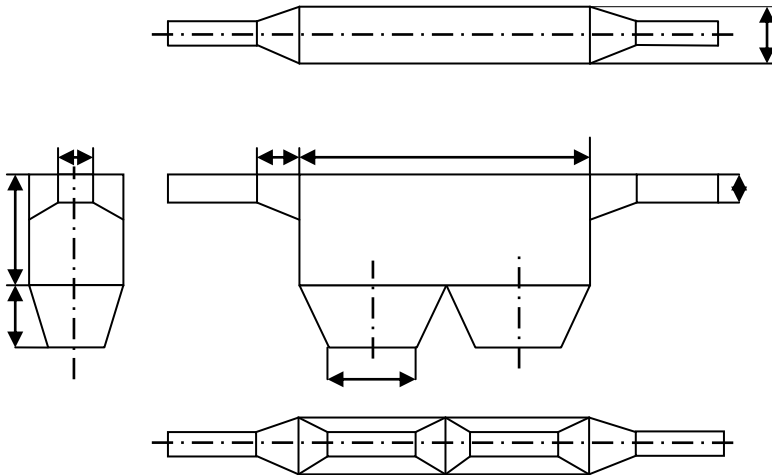
3.1.2 Studi pustaka

Studi kepustakaan dilakukan untuk memperoleh berbagai informasi mengenai teori-teori yang dapat digunakan untuk memecahkan permasalahan yang dihadapi serta mengembangkan pengetahuan dan wawasan dari penulis. Studi kepustakaan dilakukan dengan membaca literatur-literatur berupa *text books* yang relevan dengan permasalahan yang dihadapi.

3.2 Perancangan gravity settling chamber

Melakukan perancangan dan perhitungan yang diperlukan sehingga didapatkan rancangan gravity settling chamber yang sesuai dengan opsi yang direncanakan. Adapun bentuk *Gravity settling chamber* yang akan dirancang adalah seperti yang terlihat pada gambar 3.1 yang mana terdiri atas gambar pandangan atas, pandangan depan dan pandangan samping dari system

perancangan *Gravity settling chamber* yang akan dirancang nantinya.



Gambar 3.1 Gravity settling chamber

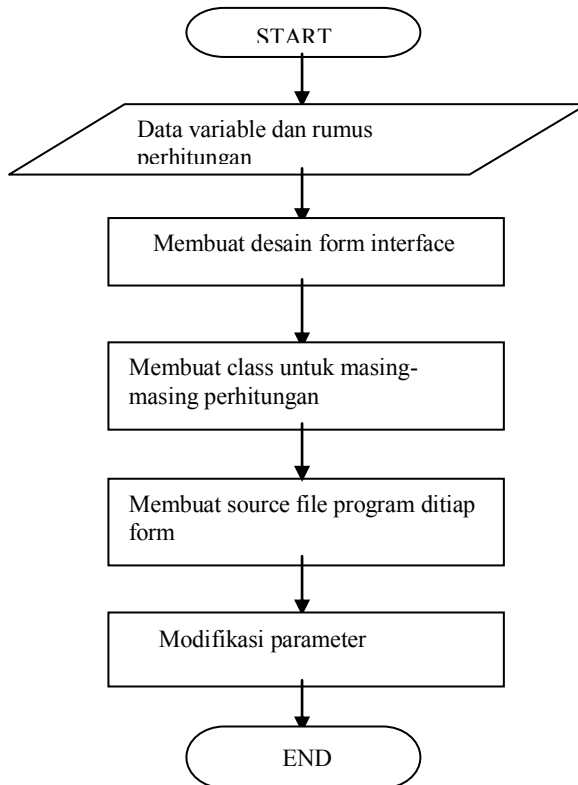
3.3 Langkah Pembuatan perangkat lunak

Pembuatan aplikasi ini seperti pada gambar 3.2 Diawali dengan :

1. Mendeklarasikan parameter input dan menuliskan rumus perhitungan. Pendeklarasian ini sangat penting agar program dapat membaca data yang akan dihitung. Dan penulisan rumus untuk membantu saat perumusan menjadi kode. Hal ini dilakukan untuk mempermudah pengecekan rumus dan kode yang akan dibuat.
2. Membuat desain *form interface*. Desain ini disesuaikan dengan kelompok data atau parameter untuk memudahkan pembacaan data .
3. Membuat class untuk masing – masing perhitungan

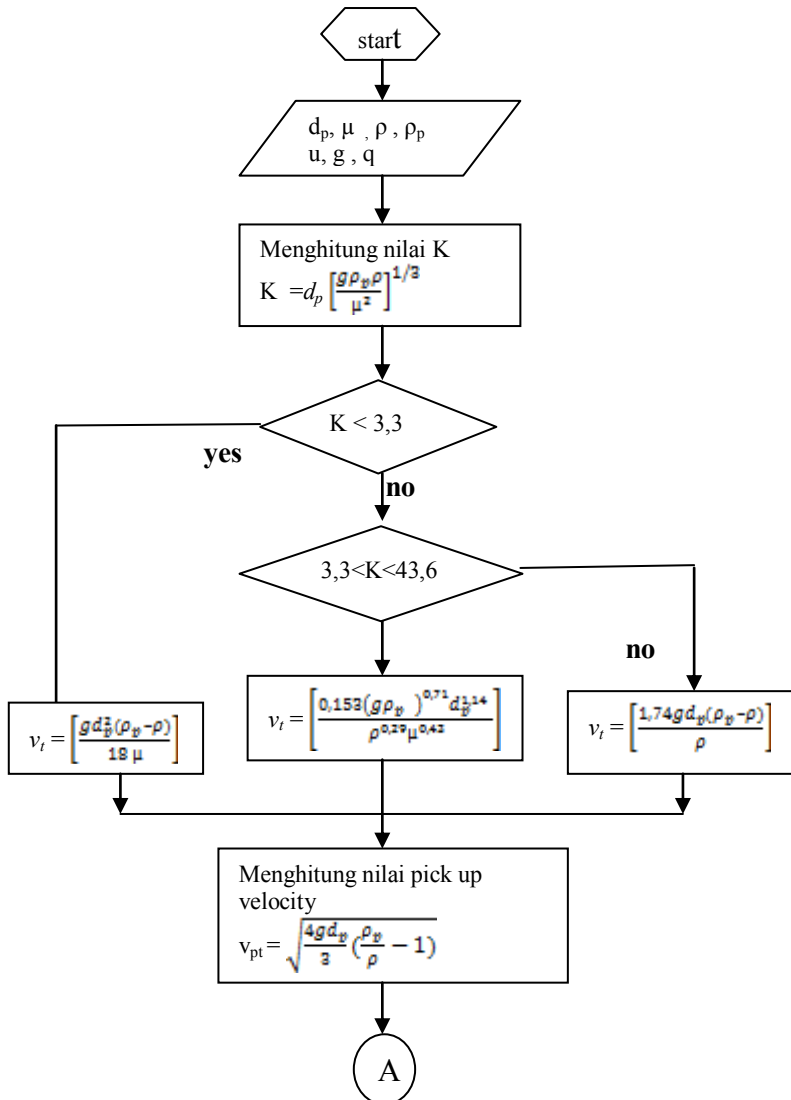
4. Membuat source file disetiap form interface
5. Melakukan modifikasi parameter . Modifikasi ini dilakukan agar diperoleh hasil yang optimal dari perancangan gravity settling chamber .

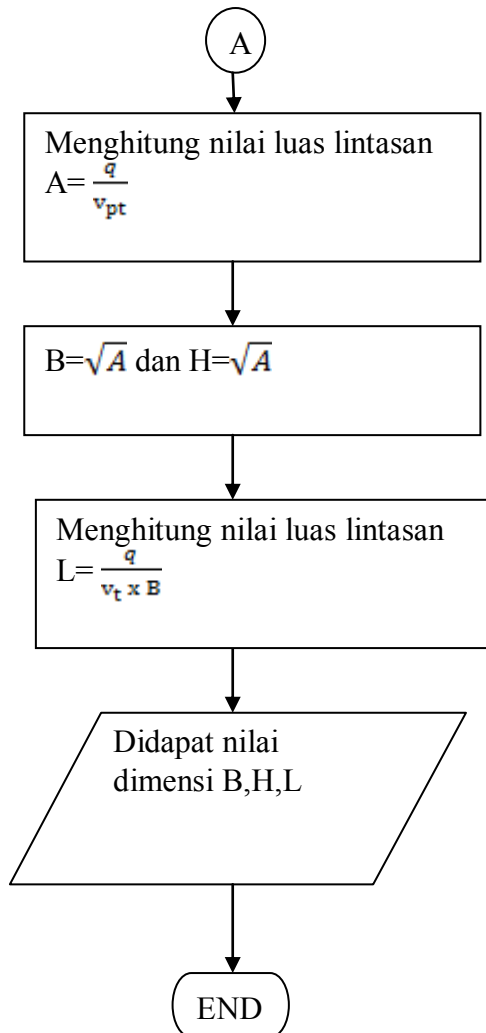
3.3.1 Flowchart pembuatan perangkat lunak



Gambar 3.2 Flowchart pembuatan perangkat lunak

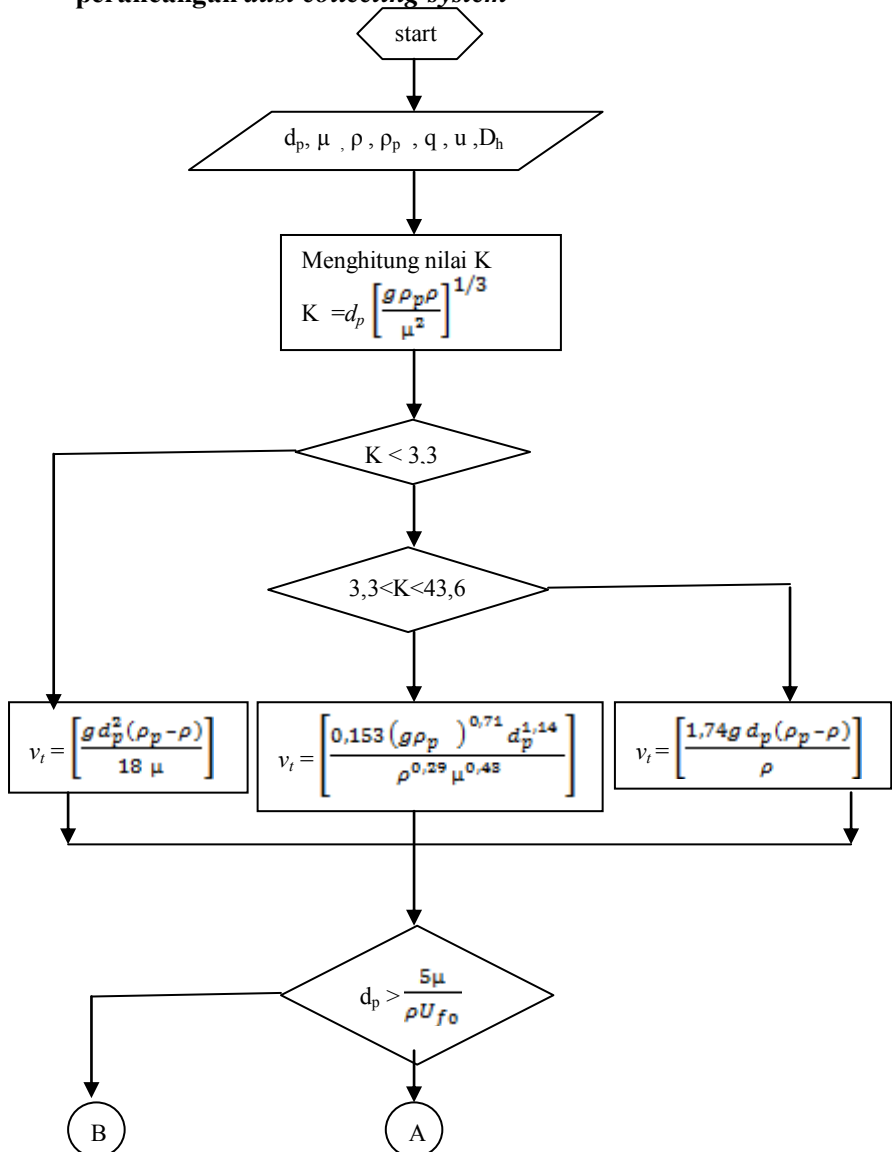
3.2.1 Flowchart perhitungan nilai dimensi B,H,L pada GSC

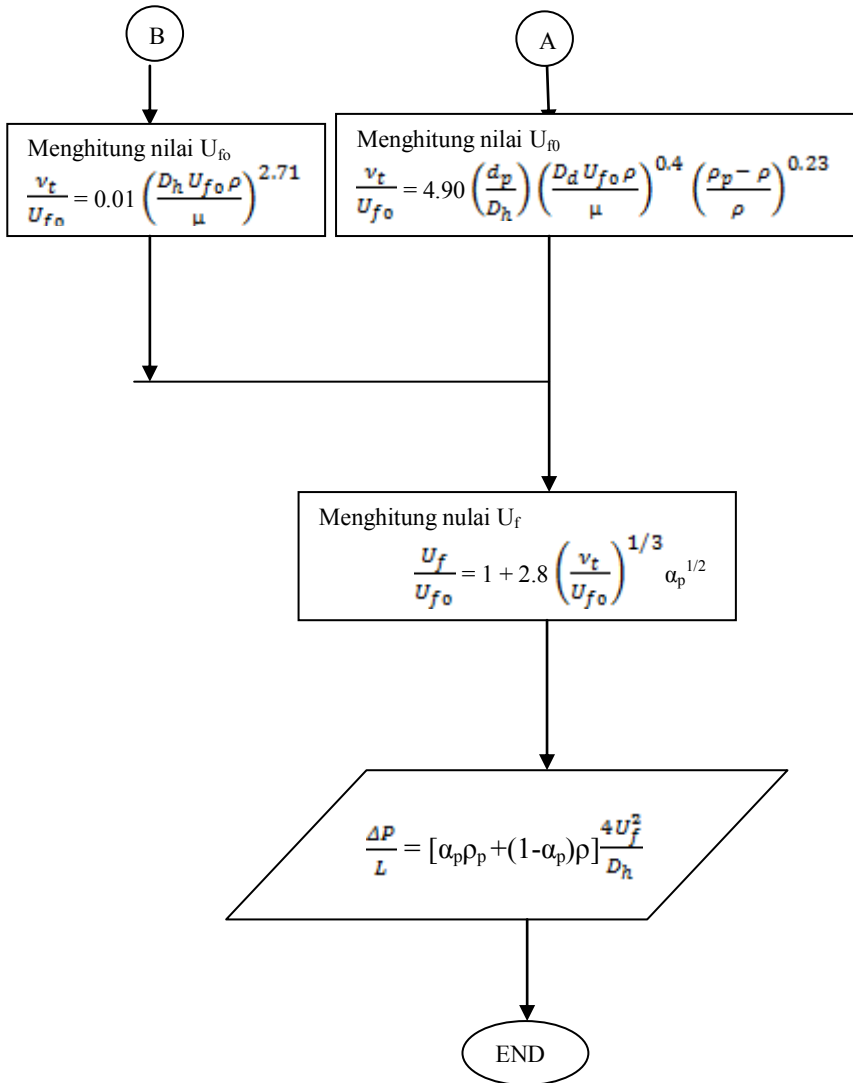




Gambar 3.3 Flowchart perhitungan nilai dimensi B,H,L pada GSC

3.3.2 Flowchart perhitungan nilai pressure drop pada perancangan *dust collecting system*





Gambar 3.4 Flowchart perhitungan nilai pressure drop per unit length pada GSC

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Perancangan GSC

Seperti yang disebutkan sebelumnya, bahwa perancangan ini bertujuan untuk menentukan dimensi *gravity settling chamber* dan mengetahui *pressure drop* yang terjadi pada tiap laluan. Perancangan ini menggunakan program Borland Delphi 7 sehingga dapat dengan mudah dilakukan perhitungan yang bervariasi seperti dalam memvariasikan diameter partikel yang akan melewati *dust collecting system*, sehingga dengan mudah bisa diketahui efisiensi penangkapan paling optimal. Oleh karenanya dibutuhkan parameter-parameter awal untuk mendapatkan nilai yang diinginkan tersebut, yaitu :

1. Kapasitas aliran (q)
2. Diameter partikel (d_p)
3. Viskositas udara (μ)
4. Massa jenis udara (ρ)
5. Massa jenis partikel (ρ_p)

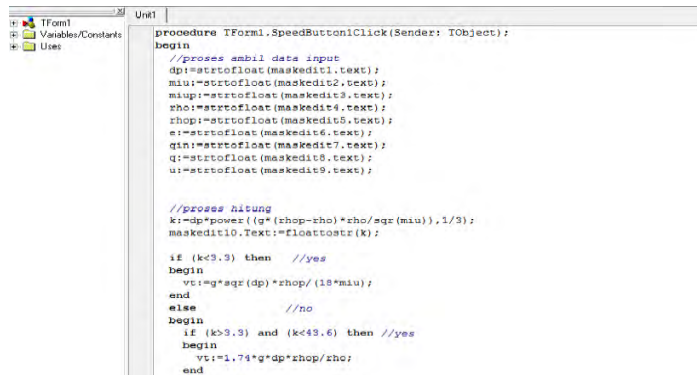
4.1.1 Metode programming Borland Delphi 7

Pada subbab ini di bahas mengenai perancangan dimensi *gravity settling chamber* yang meliputi panjang(L), tinggi(H), lebar(B) pada kotak utama *gravity settling chamber*. Selain itu juga akan dibahas mengenai *pressure drop per unit length* di setiap laluan yang ada dalam *dust collecting system*.

4.1.2 Deskripsi Awal

Mengacu pada flowchart perhitungan dibuat perangkat lunak dengan pembuatan bahasa pemograman. Untuk

software Borland Delphi bahasa pemrograman yang sesuai adalah bahasa *pascal*. Seperti yang terlihat pada gambar 4.1 dibawah ini



Gambar 4.1 gambar contoh bahasa pemrograman Delphi

Sebelum memasukkan data input terlebih dahulu yang harus dilakukan adalah melakukan pembuatan obyek seperti hitung dan variable-variable yang akan yang ditetapkan pada form interface atau bisa juga disebut tahap pendesainan seperti yang terlihat pada gambar 4.2 dimana form masih dalam bentuk kosong dan gambar 4.3 setelah terbentuk obyek-obyeknya.



Gambar 4.2 Gambar form kosong pada pemrograman.

The screenshot shows a software window titled 'Form1' with a grid of input fields. The fields are organized as follows:

- Top row: $dp =$ 0.0001, $K =$ 0, $H =$ 1, and a button labeled 'Hitung delta P'.
- Second row: $\mu =$ 2.87e-5, $V_t =$ 0, $allap =$ 0.001, and a button labeled 'Hitung'.
- Third row: $q =$ 5, $v_{pt} =$ 0, $D_h =$ 2.23, and a button labeled 'XP'.
- Fourth row: $\rho =$ 0.836, $A =$ 0, and a button labeled 'Close'.
- Fifth row: $\rho_p =$ 650, $B =$ 0, $u_{fo} =$ 0, and a button labeled 'Hitung'.
- Sixth row: $H =$ 0, $u_f =$ 0, and a button labeled 'Hitung'.
- Seventh row: $L =$ 0, $U =$ 0, and a button labeled 'Hitung'.
- Eighth row: $E =$ 0, $dellap =$ 0, and a button labeled 'Hitung'.

Gambar 4.3 gambar contoh form interface input data

4.1.3 Input Data

Dimasukkan data-data perancangan yang digunakan pada parameter awal, seperti yang terlihat pada gambar 4.3 pada contoh tampilan ini, ditetapkan yaitu nilai diameter partikel (dp)=0,0001 m atau setara dengan 100 mikron yang artinya besarnya partikel minimal yang bisa melewati *gravity settling chamber* harus lebih kecil dari nilai tersebut, kapasitas *fly ash* yang keluar dari boiler (q)= 5 m³/s, viskositas udara (μ)= 2,87 x 10⁻⁵ kg/ms sebagai parameter aliran pada fase pertama yaitu udara, densitas udara (ρ)= 0,836 kg/m³ yang juga merupakan parameter pada aliran fase udara, densitas partikel (ρ_p)= 650 kg/m³ yang merupakan parameter pada aliran fase kedua dialiran multiphase ini, dan menggunakan percepatan gravitasi (g)= 9,8 m/s. Data parameter yang disebutkan diatas adalah data perencanaan paling optimal berdasarkan nilai acuan hasil prolehan nilai *eficiency collecting particles* paling tinggi.

4.1.4 Perancangan Dimensi Gravity settling chamber (GSC)

Setelah memasukkan data input yang dibutuhkan untuk penghitung, kemudian program bisa langsung dioperasikan dengan menekan tombol hitung pada program interface, dan hasil perhitungan akan langsung dihasilkan. Seperti pada contoh gambar 4.4 di bawah ini :

Parameter	Value	Parameter	Value
dp =	1e-4	K =	1.86291899993635
mu =	2.87e-5	Vt =	0.123147642276423
q =	5	vpt =	1.00729454314551
rho =	0.836	A =	4.96379140939884
rhoP =	650	B =	2.22795677906885
		H =	2.22795677906885
		L =	18.2237245020302
		E =	1

Gambar 4.4 Form interface program perhitungan dimensi *gravity settling chamber*

Untuk menentukan geometri dari gravity settling chamber maka harus ditentukan terlebih dahulu jenis alirannya apakah aliran stoke's, aliran intermediate ataukah aliran newton. Dan untuk contoh perhitungan secara manual dari program diatas adalah sebagai berikut :

$$K = d_p \left[\frac{g(p_p)\rho}{\mu^2} \right]^{1/3}$$

$$K = 0,0001 \left[\frac{9,8 \times 0,836 \times 650}{(2,87 \times 10^{-5})^2} \right]^{1/3}$$

$$K = 0,0001 [6,465199286 \times 10^{12}]^{1/3}$$

$$K = 1,863$$

Dari hasil di atas bisa disimpulkan bahwa jenis alirannya adalah *stoke's region* sehingga untuk menentukan kecepatan terminalnya menggunakan rumus :

$$v_t = \left[\frac{g d_p^2 (\rho_p - \rho)}{18 \mu} \right]$$

$$v_t = \left[\frac{9,8 \times 0,0001^2 (650 - 0,836)}{18 \times 0,0000287} \right]$$

$$v_t = 0,1233 \text{ m/s}$$

Dalam menentukan geometri dari *gravity settling chamber* kecepatan aliran udara harus kurang dari *pick up velocity* partikel. Hal ini dimaksudkan agar partikel tidak terbawa diakibatkan adanya aliran fluida yang berkecepatan tinggi sehingga mengurangi efisiensi penangkapan partikel nantinya. Dalam penelitian ini aliran yang dianalisa merupakan aliran dilute phase. Maka *pick up velocity* partikel dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan yaitu :

$$v_{pt} = \sqrt{\frac{4 g d_p}{3} \left(\frac{\rho_p}{\rho} - 1 \right)}$$

$$v_{pt} = \sqrt{\frac{4 \times 9,8 \times 0,0001}{3} \left(\frac{650}{0,836} - 1 \right)}$$

$$v_{pt} = \sqrt{1,014642297}$$

$$v_{pt} = 1,007 \text{ m/s}$$

Dari nilai *pick up velocity* di atas maka kecepatan dalam *gravity settling chamber* nantinya akan dibuat kurang dari 1,007 m/s . maka luas penampang minimal agar partikel dapat terjatuh dari udara adalah :

$$q = v_{pt} \times A$$

$$\frac{q}{A} = v_{pt}$$

$$\frac{q}{A} < v_{pt}$$

$$\frac{q}{v_{pt}} < A$$

Sehingga :

$$\frac{5 \text{ m/s}}{1,007 \text{ m/s}} < A$$

$$4,96 \text{ m}^2 < A$$

$$A > 4,96 \text{ m}^2$$

Desain luas penampang aksial dari *gravity settling chamber* yang direncanakan nantinya akan berbentuk bujur sangkar sehingga lebar (B) dan tinggi (H) dari *gravity settling chamber* besarnya sama atau (B = H) maka :

$$B \times H > A$$

$$x H > 4,96 \text{ m}^2$$

$$B^2 > 4,96 \text{ m}^2$$

$$B > \sqrt{4,96 \text{ m}^2}$$

$$B > 2,227 \text{ m}$$

$$B \approx 2,23 \text{ m}$$

Gerakan partikel dalam aliran yang ada dalam *gravity settling chamber* memiliki arah vertikal dan horizontal. Maka agar partikel bisa terjatuh dari udara haruslah memenuhi syarat minimal seperti persamaan sebagai berikut :

$$L = \frac{q}{vtB}$$

$$L = \frac{5}{0,123 \times 2,23}$$

$$L = 18,2 \text{ m}$$

Maka dari hasil perhitungan di atas diperoleh parameter geometri dari dimensi *gravity settling chamber* yaitu :

$$B = 2,23 \text{ m}$$

$$H = 2,23 \text{ m}$$

$$L = 18,2 \text{ m}$$

Setelah didapatkan hasil geometri dari *gravity settling chamber* maka selanjutnya efisiensi penangkapan partikel bisa didapatkan dr persamaan :

$$E = \frac{H^*}{H}$$

$$E = \left[\frac{g \rho_p B L}{18 \mu q} \right] d_p^2$$

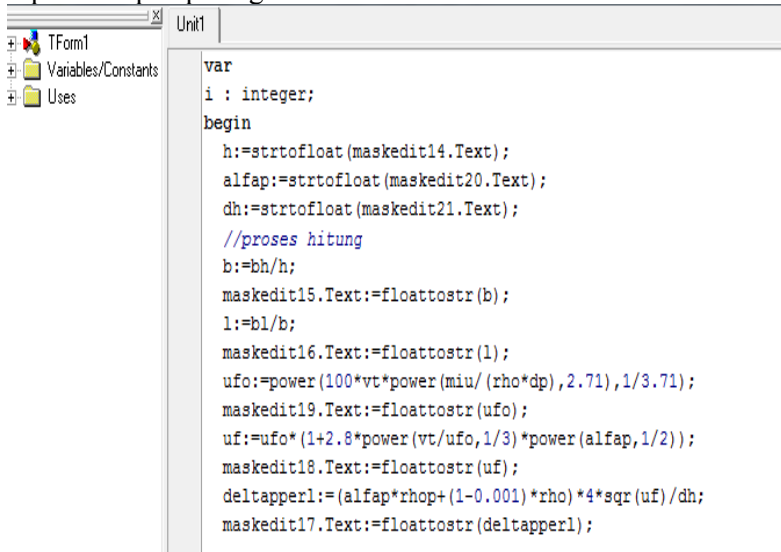
$$E = \left[\frac{9,8 \times 650 \times 2,23 \times 18,2}{18 \times 0,0000287 \times 5} \right] \times 0,0001^2$$

$$E = 1$$

Dari contoh perhitungan diatas diambil dari perhitungan maksimum untuk efisiensi penangkapan partikel tanpa memperhitungkan *pressure drop* yang terjadi pada *gravity settling chamber*.

4.1.5 Perhitungan pressure drop per unit length pada pipa horizontal

Setelah memasukkan data input yang dibutuhkan untuk perhitungan, kemudian dibuat form interface untuk hasil perhitungan, dimana sebelumnya sudah dibuat persamaan-persamaan dalam bahasa pemrograman yang dibutuhkan dalam perhitungan pada pipa horizontal pada unit pembuatan program seperti tampak pada gambar 4.5 dibawah ini :



Gambar 4.5 Bahasa pemrograman untuk perhitungan *pressure drop per unit length* pada pipa horizontal

Sedangkan untuk program otomatis akan keluar hasilnya saat ditekan tombol hitung dimana pada programnya akan terlihat seperti pada gambar 4.6 berikut ini:

The screenshot shows a software interface for calculating pressure drop. On the left, there is a 'Close' button with a trash icon and a 'Hitung' button. The main area contains input fields for the following parameters:

- $dp = 1e-4$
- $mu = 2.87e-5$
- $q = 5$
- $\rho = 0.836$
- $\rho_{hap} = 650$
- $K = 1.86291898993635$
- $Vt = 0.123147642276423$
- $vpt = 1.00729454314551$
- $A = 4.96379140939884$
- $B = 2.22795677906885$
- $H = 2.22795677906885$
- $L = 18.2237245020302$
- $E = 1$
- $H = 2.22795677906885$
- $B = 2.22795677906885$
- $L = 18.2237245020302$
- $ufo = 0.901043649479751$
- $ul = 0.942139434916435$
- $U = 29.3931352249292$
- $d_{hap} = 0.001$
- $Dh = 2.22795677906885$
- $dh2 = 1.17$
- $d_{hap} = 2.36678063897955$
- $d_{hap} = 4.50691023007128$

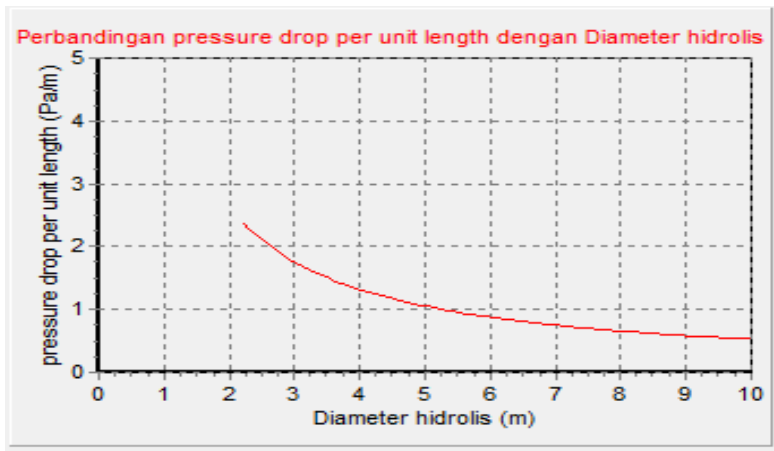
A 'Hitung delta P' button is located at the top right.

Gambar 4.6 Contoh program untuk perhitungan *pressure drop per unit length* pada pipa horizontal

Hasil contoh program yang ditampilkan ini yaitu pada gambar 4.6 merupakan hasil perancangan yang paling optimal dengan parameter awal seperti pada data input. Acuan ini diambil dari nilai efisiensi penangkapan partikel yang paling tinggi yaitu 100 persen untuk diameter partikel 100 mikron. dan didapatkan hasil *pressure drop per unit length* sebesar 1,775 Pa/m.

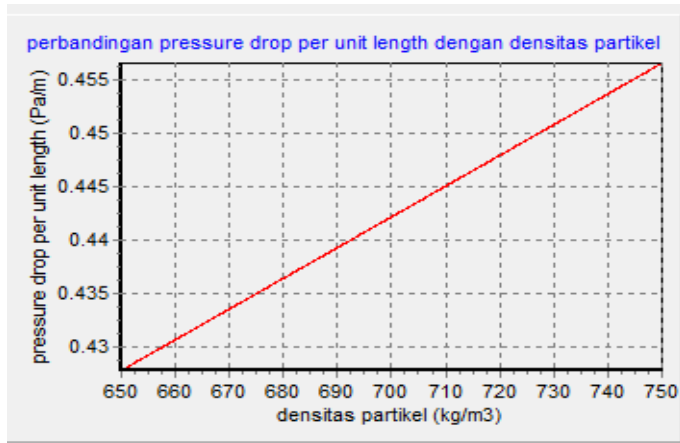
4.2 Grafik performansi

Untuk mendapatkan opsi perancangan yang optimal maka perlu ditentukan pengaruh - pengaruh apa yang terjadi dari perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya seperti yang terlihat pada grafik-grafik di bawah ini:



grafik 4.1 efek besar diameter hidrolis pada dust collecting system terhadap *pressure drop per unit length*

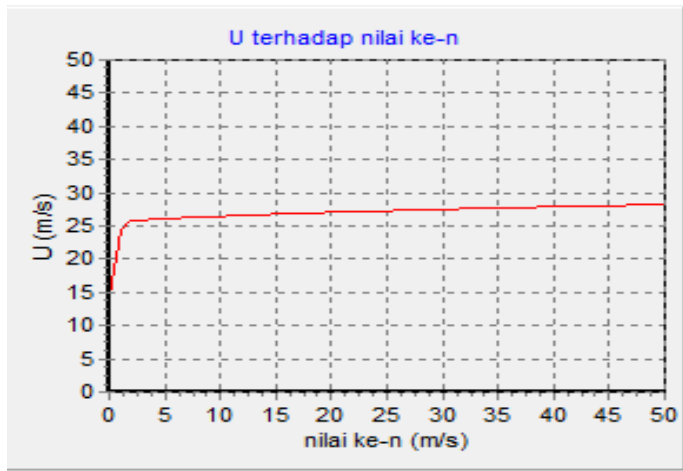
Karena modifikasi terjadi pada besar diameter hidrolis maka dapat diperoleh grafik pengaruh besar diameter hidrolis terhadap pressure drop per unit length yang dihasilkan untuk nilai i sama dengan 1,115 m atau setara dengan setengah diameter hidrolis (dh) dan seterusnya. Pada grafik 4.1 menunjukkan bahwa semakin besar nilai diameter hidrolis maka pressure drop per unit length semakin mengecil sampai pada kondisi diameter hidrolis maksimum.



Grafik 4.2 Pengaruh densitas partikel terhadap *pressure drop per unit length*

Pada grafik 4.2 diatas dapat dilihat bahawa semakin besar nilai densitas partikel (ρ_p) maka nilai *pressure drop per unit length* dari system juga semakin besar artinya jenis partikel yang melewati dust collecting system sangat berpengaruh terhadap *pressure drop* yang terjadi. Semakin tinggi densitas partikel maka *pressure drop per unit length* nya juga semakin tinggi. Pengaruh densitas partikel terhadap *pressure drop per unit length* yang terjadi sesuai dengan persamaan dibawah ini .

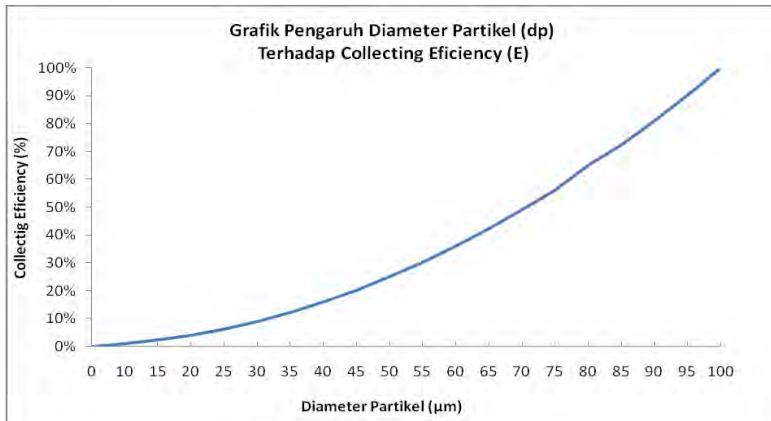
$$\frac{\Delta P}{L} = [\alpha_p \rho_p + (1 - \alpha_p) \rho] \frac{4U_f^2}{D_h}$$



Grafik 4.3 Grafik hasil perhitungan nilai kecepatan transport aliran *multiphase*

Pada grafik 4.3 dapat dilihat bahwa nilai maksimum untuk hasil iterasi penentuan nilai kecepatan transport didapatkan yaitu sebesar 29,4 m/s artinya nilai kecepatan minimum agar partikel bisa terbawa oleh aliran udara adalah 29,4 m/s untuk hasil perhitungan maksimum di atas. Dimana untuk rumus perhitungan nilai kecepatan transport dengan proses iterasi bisa dilihat pada persamaan di bawah ini:

$$U = U_f \left[5 \log \left(\frac{D_h U}{\nu} \right) - 3.90 \right]$$



Grafik 4.4 grafik pengaruh diameter partikel terhadap *collecting efficiency* pada *dust collecting system*

Pada grafik di atas yaitu grafik 4.4 diatas dapat dilihat bahwa dengan meningkatnya ukuran diameter suatu partikel pada *dust collecting system* maka *collecting efficiency* yang terjadi pun semakin tinggi. Artinya semakin besar diameter partikel efisiensi penangkapan pun semakin besar begitu pula sebaliknya. Sehingga grafik diatas sesuai dengan persamaan dibawah ini

$$E = \left[\frac{g \rho_p B L}{18 \mu q} \right] d_p^2$$

4.3 Contoh perhitungan

Contoh perhitungan ini diperoleh dari hasil opsi perancangan yang paling optimal dari perbedaan dilute phase dan dense phase . dengan data input sebagai berikut :

1. Pipa laluan horizontal
 - $d_p = 100 \mu\text{m} = 0,0001\text{m}$
 - $\rho = 0,836 \text{ kg/m}^3$
 - $\rho_p = 650 \text{ kg/m}^3$
 - $\mu = 2,87 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$

- $d_h = 0,5 D_h$
- 2. Diffuser
 - $d_h = D_{h1} - D_{h2}$
 $d_h = 0,5 D_h$
- 3. Nozzle
 - $d_h = D_{h1} - D_{h2}$
 $d_h = 0,5 D_h$

4.3.1 Perhitungan pressure drop per unit length pada pipa horizontal

1. Menentukan nilai kontanta tanpa dimensi K aliran pada pipa horizontal

$$K = d_p \left[\frac{g(p_p)\rho}{\mu^2} \right]^{1/3}$$

$$K = 0,0001 \left[\frac{9,8 \times 0,836 \times 650}{(2,87 \times 10^{-5})^2} \right]^{1/3}$$

$$K = 0,0001 [6,465 \times 10^{12}]^{1/3}$$

$$K = 1,863$$

2. Menentukan nilai kecepatan terminal (v_t) pada pipa horizontal

$$v_t = \left[\frac{g d_p^2 (\rho_p - \rho)}{18 \mu} \right]$$

$$v_t = \left[\frac{9,8 \times 0,0001^2 (650 - 0,836)}{18 \times 0,0000287} \right]$$

$$v_t = 0,123 \text{ m/s}$$

3. Menentukan kecepatan gesekan saat kondisi minimum transport dan konsentrasi solid nol

$$U_{fo} = \left[100 v_t \left(\frac{v}{d_p} \right)^{2.71} \right]$$

$$U_{fo} = (100 \times 0,1233 \times 0,0552)^{1/3,71}$$

$$U_{fo} = 0,91 \text{ m/s}$$

4. Menentukan nilai kecepatan gesekan saat kondisi minimum transport adalah

$$U_f = U_{fo} \left(1 + 2.8 \left(\frac{v_t}{U_{fo}} \right)^{1/3} \alpha_p \right)^{1/2}$$

$$U_f = 0,91 \left(1 + 2.8 \left(\frac{0,1233}{0,91} \right)^{1/3} 0,001^{1/2} \right)$$

$$U_f = 0,91 \left(1 + 2,8 (0,1355)(0,032) \right)$$

$$U_f = 0,92 \text{ m/s}$$

5. Menentukan pressure drop per unit length pada pipa horizontal adalah

$$\frac{\Delta P}{L} = [\alpha_p \rho_p + (1 - \alpha_p) \rho] \frac{4U_f^2}{D_h}$$

$$\frac{\Delta P}{L} = [0,001 \times 650 + (1 - 0,001) 0,836] \frac{4 \times 0,92^2}{\frac{1}{2} \times 2,97}$$

$$\frac{\Delta P}{L} = 1,77 \text{ Pa/m}$$

4.3.2 .Perhitungan *pressure drop per unit length* pada *diffuser*

Menentukan *pressure drop per unit length* pada *diffuser* adalah

$$\frac{\Delta P}{L} = [\alpha_p \rho_p + (1 - \alpha_p) \rho] \frac{4U_f^2}{D_h}$$

$$\frac{\Delta P}{L} = [0,001 \times 650 + (1-0,001)0,836] \frac{\frac{4}{2} \times 0,92^2}{2,23}$$

$$\frac{\Delta P}{L} = 4.51 \text{ Pa/m}$$

4.3.3 Perhitungan *pressure drop per unit length* pada *nozzle*

Menentukan *pressure drop per unit length* pada *nozzle* adalah

$$\frac{\Delta P}{L} = [\alpha_p \rho_p + (1-\alpha_p)\rho] \frac{4U_f^2}{D_h}$$

$$\frac{\Delta P}{L} = [0,001 \times 650 + (1-0,001)0,836] \frac{\frac{4}{2} \times 0,92^2}{2,23}$$

$$\frac{\Delta P}{L} = 4.51 \text{ Pa/m}$$

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan perancangan gravity settling chamber dengan menggunakan programming Borland dhelpi 7 maka diperoleh kesimpulan dari opsi perancangan yang optimal diperoleh:

1. Dimensi gravity settling chamber terbaik adalah untuk lintasan horizontal $B = 2,23$ meter ; $H = 2,23$ meter dan untuk lintasan vertical $L = 18,2$ meter dilihat dari efisiensi penangkapan untuk diameter partikel $100 \mu\text{m}$.
2. Semakin besar ukuran dari diameter partikel maka efisiensi penangkapan oleh *gravity settling chamber* semakin tinggi.
3. Semakin besar diameter hidrolis pada luas penampang inlet dan settling chambernya maka *pressure drop* yang terjadi juga semakin kecil.
4. Semakin besar nilai densitas sebuah partikel maka *pressure drop per unit length* yang terjadi juga semakin besar.
5. Nilai kecepatan transport yang didapatkan adalah $29,5 \text{ m/s}$
6. Nilai *pressure drop per unit length* yang didapatkan adalah untuk pipa horizontal $= 1,77 \text{ Pa/m}$; diffuser $= 4,51 \text{ Pa/m}$; nozzle $= 4,51 \text{ Pa/m}$.

5.2 Saran

Saran untuk perancangan gravity settling chamber setelah dilakukan perhitungan menggunakan programming Borland Delphi 7 adalah:

1. Meningkatkan dimensi yang lebih besar untuk collecting sistemnya agar efisiensi untuk penangkapan partikel yang lebih kecil bisa lebih tinggi agar pencemaran udara yang terjadi di lingkungan semakin kecil. Karena dimasa mendatang diprediksi polusi yang terjadi akan semakin tinggi.

LAMPIRAN A

CODING PROGRAM

1. Input Data

```
object Form1: TForm1
  Left = 217
  Top = 4
  Width = 1216
  Height = 688
  Caption = 'Form1'
  Color = clBtnFace
  Font.Charset = DEFAULT_CHARSET
  Font.Color = clWindowText
  Font.Height = -11
  Font.Name = 'MS Sans Serif'
  Font.Style = []
  OldCreateOrder = False
  OnCreate = FormCreate
  PixelsPerInch = 96
  TextHeight = 13
object SpeedButton1: TSpeedButton
  Left = 8
  Top = 56
  Width = 97
  Height = 49
  Caption = 'Hitung'
  Font.Charset = DEFAULT_CHARSET
  Font.Color = clBlack
  Font.Height = -11
  Font.Name = 'MS Sans Serif'
  Font.Style = []
  ParentFont = False
```

```
OnClick = SpeedButton1Click
end
object Label1: TLabel
    Left = 136
    Top = 8
    Width = 24
    Height = 13
    Caption = 'dp= '
end
object Label2: TLabel
    Left = 136
    Top = 40
    Width = 25
    Height = 13
    Caption = 'miu ='
end
object Label3: TLabel
    Left = 136
    Top = 72
    Width = 6
    Height = 13
    Caption = 'q'
end
object Label4: TLabel
    Left = 136
    Top = 104
    Width = 24
    Height = 13
    Caption = 'rho ='
end
object Label5: TLabel
    Left = 128
    Top = 136
    Width = 33
```

```
    Height = 13
    Caption = 'rho='
end
object Label6: TLabel
    Left = 344
    Top = 136
    Width = 7
    Height = 13
    Caption = 'B'
end
object Label7: TLabel
    Left = 344
    Top = 168
    Width = 8
    Height = 13
    Caption = 'H'
end
object Label13: TLabel
    Left = 336
    Top = 104
    Width = 7
    Height = 13
    Caption = 'A'
end
object SpeedButton2: TSpeedButton
    Left = 736
    Top = 0
    Width = 153
    Height = 49
    Caption = 'Hitung delta P'
OnClick = SpeedButton2Click
end
object Label14: TLabel
    Left = 528
```

```
    Top = 8
    Width = 20
    Height = 13
    Caption = 'H = '
end
object BitBtn1: TBitBtn
    Left = 8
    Top = 8
    Width = 97
    Height = 41
    TabOrder = 0
    Kind = bkClose
end
object MaskEdit1: TMaskEdit
    Left = 176
    Top = 8
    Width = 121
    Height = 21
    TabOrder = 1
    Text = '1e-4'
end
object MaskEdit2: TMaskEdit
    Left = 176
    Top = 40
    Width = 121
    Height = 21
    TabOrder = 2
    Text = '2.87e-5'
end
object MaskEdit3: TMaskEdit
    Left = 176
    Top = 72
    Width = 121
    Height = 21
```

```
TabOrder = 3
  Text = '5'
end
object MaskEdit4: TMaskEdit
  Left = 176
  Top = 104
  Width = 121
  Height = 21
TabOrder = 4
  Text = '0.836'
end
object MaskEdit5: TMaskEdit
  Left = 176
  Top = 136
  Width = 121
  Height = 21
TabOrder = 5
  Text = '650'
end
object MaskEdit6: TMaskEdit
  Left = 368
  Top = 136
  Width = 121
  Height = 21
TabOrder = 6
  Text = '0'
end
object MaskEdit7: TMaskEdit
  Left = 368
  Top = 168
  Width = 121
  Height = 21
TabOrder = 7
  Text = '0'
```

```
end
object MaskEdit8: TMaskEdit
    Left = 368
    Top = 200
    Width = 121
    Height = 21
    TabOrder = 8
    Text = '0'
end
object MaskEdit9: TMaskEdit
    Left = 368
    Top = 232
    Width = 121
    Height = 21
    TabOrder = 9
    Text = '0'
end
object MaskEdit10: TMaskEdit
    Left = 368
    Top = 8
    Width = 121
    Height = 21
    TabOrder = 10
    Text = '0'
end
object MaskEdit11: TMaskEdit
    Left = 368
    Top = 40
    Width = 121
    Height = 21
    TabOrder = 11
    Text = '0'
end
object MaskEdit12: TMaskEdit
```



```
    Left = 368
    Top = 72
    Width = 121
    Height = 21
    TabOrder = 12
    Text = '0'
end
object MaskEdit13: TMaskEdit
    Left = 368
    Top = 104
    Width = 121
    Height = 21
    TabOrder = 13
    Text = '0'
end
object MaskEdit14: TMaskEdit
    Left = 560
    Top = 8
    Width = 121
    Height = 21
    TabOrder = 14
    Text = '2.22795677906885'
end
object MaskEdit15: TMaskEdit
    Left = 560
    Top = 40
    Width = 121
    Height = 21
    TabOrder = 15
    Text = '2.22795677906885'
end
object MaskEdit16: TMaskEdit
    Left = 560
    Top = 136
```

```

    Width = 121
    Height = 21
    TabOrder = 16
    Text = '0'
end
TabOrder = 20
    Text = '0.001'
end
object MaskEdit21: TMaskEdit
    Left = 560
    Top = 72
    Width = 121
    Height = 21
    TabOrder = 21
    Text = '18.2237245020302'
end
object Chart1: TChart
    Left = 0
    Top = 312
    Width = 305
    Height = 225
    BackWall.Brush.Color = clWhite
    BackWall.Brush.Style = bsClear
    Title.Font.Charset = DEFAULT_CHARSET
    Title.Font.Color = clRed
    Title.Font.Height = -11
    Title.Font.Name = 'Arial'
    Title.Font.Style = []
    Title.Text.Strings = (
        'Perbandingandeltaperldengan Dh')
    BottomAxis.Title.Caption = 'Dh (m)'
    LeftAxis.Title.Caption = 'deltaperl (Pa/m)'
    Legend.Visible = False
    View3D = False

```

```

TabOrder = 22
object Series1: TLineSeries
Marks.ArrowLength = 8
Marks.Visible = False
SeriesColor = clRed
Pointer.InflateMargins = True
Pointer.Style = psRectangle
Pointer.Visible = False
XValues.DateTime = False
XValues.Name = 'X'
XValues.Multiplier = 1.000000000000000000
XValues.Order = loAscending
YValues.DateTime = False
YValues.Name = 'Y'
YValues.Multiplier = 1.000000000000000000
YValues.Order = loNone
end
end
object Chart2: TChart
  Left = 312
  Top = 312
  Width = 321
  Height = 225
BackWall.Brush.Color = clWhite
BackWall.Brush.Style = bsClear
Title.Text.Strings = (
  'perbandingandeltapperldenganrhop')
BottomAxis.Title.Caption = 'rhop'
LeftAxis.Title.Caption = 'deltapperl'
Legend.Visible = False
  View3D = False
TabOrder = 23
object Series2: TLineSeries
Marks.ArrowLength = 8

```

```

Marks.Visible = False
SeriesColor = clRed
Pointer.InflateMargins = True
Pointer.Style = psRectangle
Pointer.Visible = False
XValues.DateTime = False
XValues.Name = 'X'
XValues.Multiplier = 1.000000000000000000
XValues.Order = loAscending
YValues.DateTime = False
YValues.Name = 'Y'
YValues.Multiplier = 1.000000000000000000
YValues.Order = loNone
end
end
object MaskEdit22: TMaskEdit
    Left = 744
    Top = 128
    Width = 121
    Height = 21
TabOrder = 24
    Text = '0'
end
object Chart3: TChart
    Left = 640
    Top = 312
    Width = 321
    Height = 225
BackWall.Brush.Color = clWhite
BackWall.Brush.Style = bsClear
Title.Text.Strings = (
    'U terhadapnilaike-n')
BottomAxis.Title.Caption = 'nilaike-n'
LeftAxis.Title.Caption = 'U'

```

```
Legend.Visible = False
    View3D = False
TabOrder = 25
object Series3: TLineSeries
Marks.ArrowLength = 8
Marks.Visible = False
SeriesColor = clRed
Pointer.InflateMargins = True
Pointer.Style = psRectangle
Pointer.Visible = False
XValues.DateTime = False
XValues.Name = 'X'
XValues.Multiplier = 1.000000000000000000
XValues.Order = loAscending
YValues.DateTime = False
YValues.Name = 'Y'
YValues.Multiplier = 1.000000000000000000
YValues.Order = loNone
end
end
object Edit1: TEdit
    Left = 560
    Top = 168
    Width = 121
    Height = 21
TabOrder = 26
    Text = '1.17'
end
object Edit2: TEdit
    Left = 744
    Top = 192
    Width = 121
    Height = 21
TabOrder = 27
```

```

    Text = '0'
end
object XPManifest1: TXPManifest
    Left = 40
    Top = 128
end
end

```

2. Tahapperancangan dust collecting system

```
unit Unit1;
```

```
interface
```

```
uses
```

```

    Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes,
    Graphics, Controls, Forms,
    Dialogs, StdCtrls, Buttons, Mask, Math, TeEngine,
    Series, ExtCtrls,
    TeeProcs, Chart, XPMan;

```

```
type
```

```

TForm1 = class(TForm)
    BitBtn1: TBitBtn;
    SpeedButton1: TSpeedButton;
    MaskEdit1: TMaskEdit;
    MaskEdit2: TMaskEdit;
    Label1: TLabel;
    MaskEdit3: TMaskEdit;
    MaskEdit4: TMaskEdit;
    MaskEdit5: TMaskEdit;
    MaskEdit6: TMaskEdit;

```

```
MaskEdit7: TMaskEdit;  
MaskEdit8: TMaskEdit;  
MaskEdit9: TMaskEdit;  
Label2: TLabel;  
Label3: TLabel;  
Label4: TLabel;  
Label5: TLabel;  
Label6: TLabel;  
Label7: TLabel;  
Label8: TLabel;  
Label9: TLabel;  
MaskEdit10: TMaskEdit;  
Label10: TLabel;  
MaskEdit11: TMaskEdit;  
Label11: TLabel;  
MaskEdit12: TMaskEdit;  
Label12: TLabel;  
MaskEdit13: TMaskEdit;  
Label13: TLabel;  
SpeedButton2: TSpeedButton;  
Label14: TLabel;  
MaskEdit14: TMaskEdit;  
Label15: TLabel;  
MaskEdit15: TMaskEdit;  
Label16: TLabel;  
MaskEdit16: TMaskEdit;  
MaskEdit17: TMaskEdit;  
MaskEdit18: TMaskEdit;  
MaskEdit19: TMaskEdit;  
MaskEdit20: TMaskEdit;
```

```

MaskEdit21: TMaskEdit;
Label17: TLabel;
Label18: TLabel;
Label19: TLabel;
Label20: TLabel;
Label21: TLabel;
Chart1: TChart;
Series1: TLineSeries;
Chart2: TChart;
Series2: TLineSeries;
XPManifest1: TXPManifest;
MaskEdit22: TMaskEdit;
Label22: TLabel;
Chart3: TChart;
Series3: TLineSeries;
Edit1: TEdit;
Label23: TLabel;
Edit2: TEdit;
Label24: TLabel;
procedure SpeedButton1Click(Sender: TObject);
procedure SpeedButton2Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;

var
Form1: TForm1;

```



```

//variabel input
dp,miu,miup,rho,rhop,e,qin,q,u : real;
//variabel output
k,vt,bl,bh,vpt,a,b,l,h : real;
//variabel input untuk hitung B,H,L
s,alfap,d,dh2 : real;
//variabel output
c,ufo,uf,deltapperl,dh,deltapperl2 : real;
nilaiu0, nilaiu1 : real;
arraydeltapperl, arraynilaiu : array [0..1000] of real;
const
g = 9.8;

```

implementation

```
{ $R *.dfm }
```

```

procedure TForm1.SpeedButton1Click(Sender: TObject);
begin
//proses ambil data input
dp:=strtoint(maskedit1.text);
miu:=strtoint(maskedit2.text);
q:=strtoint(maskedit3.text);
rho:=strtoint(maskedit4.text);
rhop:=strtoint(maskedit5.text);
//proses hitung
k:=dp*power((g*rhop*rho/sqrt(miu)),1/3);
maskedit10.Text:=floattostr(k);
if (k<3.3) then //yes
begin

```

```

vt:=g*sqr(dp)*(rho-rho)/(18*miu);
end
else          //no
begin
if (k>3.3) and (k<43.6) then //yes
begin
vt:=1.74*g*dp*(rho-rho)/rho;
end
else //no
begin
vt:=0.153*power(g*rho,0.71)*power(dp,1.14)/(power(rho,0.29)*power(miu,0.43));
end;
end;
maskedit11.Text:=floattostr(vt);
vpt:=power(4*g*dp/3*(rho/rho-1),1/2);
a:=q/vpt;
b:=power(a,1/2);
h:=power(a,1/2);
l:=q/(vt*b);
maskedit12.Text:=floattostr(vpt);
maskedit13.Text:=floattostr(a);
maskedit6.Text:=floattostr(b);
maskedit7.Text:=floattostr(h);
maskedit8.Text:=floattostr(l);
end;
procedure TForm1.SpeedButton2Click(Sender: TObject);
var
i : integer;
begin

```

```

s:=strtofloat(maskedit14.Text);
alfap:=strtofloat(maskedit20.Text);
d:=strtofloat(maskedit21.Text);
c:=strtofloat(maskedit15.Text);
dh2:=strtofloat(edit1.Text);
//proses hitung
dh:=4*c*s/(2*c+s);
maskedit16.Text:=floattostr(dh);
ufo:=power(100*vt*power(miu/(rho*dp),2.71),1/3.71);
maskedit19.Text:=floattostr(ufo);
uf:=ufo*(1+2.8*power(vt/ufo,1/3)*power(alfap,1/2));
maskedit18.Text:=floattostr(uf);
deltapperl:=(alfap*rhop+(1-0.001)*rho)*4*sqr(uf)/dh;
maskedit17.Text:=floattostr(deltapperl);
e:=vt*c*d/q;
maskedit9.Text:=floattostr(e);
deltapperl2:=(alfap*rhop+(1-0.001)*rho)*4*sqr(uf)/dh2;
edit2.Text:=floattostr(deltapperl2);
series1.Clear;
//hitung plot
for i:=0 to 100 do
begin
Application.ProcessMessages;
nilaiu1 := uf*((5*Log10((dh*nilaiu0*rho)/miu))-3.90);
arraynilaiu[i] := nilaiu1;
MaskEdit22.Text := FloatToStr(nilaiu1);
Series3.AddXY(i,nilaiu1);
nilaiu0 := nilaiu1;
arraydeltapperl[i]:=(alfap*rhop+(1-
0.001)*rho)*4*sqr(uf)/dh;

```

```

series1.AddXY(dh,arraydeltapperl[i]);
dh:=dh+0.1;
end;
    series2.Clear;
    //hitung plot
for i:=0 to 100 do
begin
    //arraynilaiu[i]:=uf*((5*Log10((dh*nilaiu0*rho)/miu))-
3.90);
    //arraynilaiu[i] := nilaiu1;
    //series2.AddXY(dh,arraynilaiu[i]);
    //dh:=dh+2.23;
end;
    //series3.Clear;
    //hitung plot
for i:=0 to 1000 do
begin
arraydeltapperl[i]:=(alfap*rhop+(1-
0.001)*rho)*4*sqr(uf)/dh;
series2.AddXY(rhop,arraydeltapperl[i]);
rhop:=rhop+0.1;
end;
end;
procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
nilaiu0 := 0.1;
nilaiu1 := 0.1;
end;
end.

```

DAFTAR PUSTAKA

1. Theodore, Louis, *Air pollution control equipment calculation*, Jhon Willey & Son Inc., New jersey, 1998.
2. Fan, Liang-Shih, Chao Zhu, *Principles of Gas-Solid Flows*, Cambridge Series In Chemical Engineering, Cambridge University Press, USA, 1998.
3. Zeppelin Silos & Systems GmbH, *Conveying Systems Made by Zeppelin*, Leutholdstr 108, Jerman, 2004.
4. Alan, T. McDonald, Robert W. Fox, *Introduction to Fluid Mechanics, SI version*, Fourth Edition, John Willey & Son Inc., USA, 1994.
5. Mills, David, *Pneumatic Conveying Design Guide*, Second Edition, Linacre House, Jordan Hill, Burlington, 2004.
6. William, J.C, Alen, T, *Handbook of Powder Technology*, Elsevier Science, Netherland, 2001.

Halaman ini sengaja dikosongkan

TENTANG PENULIS



Denik Satya Anggraini adalah perempuan kelahiran Jombang 28 September 1988. Penulis memulai perjalanan hidupnya dari daerah yang sepi hingga sampai di kota terpadat kedua di Indonesia. Sudah berbagai pahit getir bumbu kehidupan yang telah dia rasakan. Dia memulai pendidikannya di TK. Dharma Wanita desa Sukosari, kemudian melanjutkan ke SDN Sukosari. Setelah bosan bersekolah di lingkungan tempat tinggalnya, akhirnya penulis melanjutkan sekolah di SMPN 1 Jogoroto kemudian melanjutkan ke SMAN Jogoroto, dia pun akhirnya memutuskan untuk melanjutkan ke perguruan tinggi guna mendapatkan pendidikan yang dia impikan yaitu kuliah di Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya. Banyak sekali halangan dan rintangan yang penulis hadapi dalam menyelesaikan studinya. Namun penulis menganggap itu semua adalah warna – warni kehidupan yang seharusnya dinikmati. Semua itu dia hadapi dengan penuh kesabaran dan ketabahan, penulis menganggap semua itu adalah *training* untuk menjadi manusia sejati. Dan kini akhirnya penulis telah berhasil menyelesaikan studinya. Dari seorang anak kampung kini telah berubah menjadi seorang yang mempunyai kematangan pemikiran dan mental yang telah siap mengarungi samudra kehidupan yang sering menenggelamkan manusia dalam keputusan. Selalu semangat saudara – saudaraku. Kehidupan kita bukan di sini di dunia saja, namun kelak kita juga akan mengarungi kehidupan akhirat yang jauh lebih kejam daripada kehidupan dunia